AGB
Q85

A 85

Der
praktische Elektriker.

Populäre Anleitung

zur

Selbstanfertigung elektrischer Apparate

und zur

Anstellung zugehöriger Versuche

nebst

Schlussfolgerungen, Regeln und Gesetzen.

Mit 466 in den Text gedruckten Abbildungen.

Von

Professor W. Weiler.

Dritte, vielfach umgearbeitete Auflage.

K. B. GYMNAS: BIBLIOTHEK BAMBERG

Leipzig.
Verlag von Moritz Schäfer.

[1897]

STAATSBIBLIOTHEK
BAMBERG

Vorwort.

Dieses Werkchen ist für alle diejenigen bestimmt, welche aus Liebe zur Elektricität ihre Apparate selbst anfertigen wollen und welche dies mit Verständnis zu thun beabsichtigen. Zu diesem Zwecke sind jedem Kapitel und der Mehrzahl der beschriebenen Apparate Schlussfolgerungen, Regeln und Gesetze beigegeben. Aber auch denjenigen, die ihre elektrischen Apparate käuflich erwerben, wird eine Beschreibung derselben und der damit anzustellenden Versuche förderlich sein; denn nicht selten sind die Apparate zu reparieren, wozu eine eingehendere Kenntnis derselben unerlässlich ist.

Zwar sind solche Anleitungen schon zahlreich vorhanden, jedoch in Specialwerken so zerstreut, dass der Praktiker Mühe haben dürfte, sie für seine Unterhaltung, seinen Nutzen und seine Ausbildung zusammenzufinden: hier sind sie ihm in einfacher Darstellungsweise zusammengestellt.

Da der Verfasser die erklärten und abgebildeten Apparate meist selbst und bisweilen in verschiedenen Formen hergestellt hat und seit Jahren im Unterricht

verwendet; so kann der praktische Elektriker, wenn er den gegebenen Winken folgt, auf ein Gelingen seiner Ausführungen rechnen. Die Maasse hierzu sind so gewählt, dass die Apparate eine mittlere, leistungsfähige Grösse erreichen.

Insbesondere war der Verfasser bestrebt, der reiferen Jugend eine Vorschule zur Elektrotechnik zu schaffen.

Esslingen, im August 1891.

Der Verfasser.

Vorwort zur zweiten Auflage.

Zahlreiche anerkennende Zuschriften und Beurteilungen haben dem Verfasser dargethan, dass er mit dieser Arbeit vielen Wünschen entgegengekommen ist; aber an ihn gestellte Fragen haben ihm auch bewiesen, dass noch manches bestimmter und specieller zu beschreiben und darzulegen war. Es ist daher die Zahl der Apparatbeschreibungen nur mässig vermehrt, dagegen sind die Versuche mit mehr Zahlenbeispielen belegt und mehreren Einrichtungen Kostenanschläge beigegeben worden. Einige Abschnitte haben eine durchgreifende Umarbeitung erfahren. Das Kapitel über „einige Apparate zur Spannungs-Elektricität“ ist ausgefallen, da der Verfasser indessen die Einleitung in die Lehre von der „Spannungs-Elektricität“ in ähnlicher Weise, wie die vom galvanischen Strome in diesem Werkchen, behandelt hat.

Vielfach ist auch des Verfassers Wunsch, „der reiferen Jugend eine Vorschule zur Elektrotechnik zu schaffen“, in Erfüllung gegangen.

Ein ausführliches Register wird das Nachschlagen

erleichtern und zur Verbindung dessen dienen, was aus praktischen Gründen getrennt werden musste.

Für jeden Wink, der zur ferneren Verbesserung dieser Arbeit beitragen kann, würde der Verfasser dankbar sein.

Auch die Verlagsbuchhandlung hat wieder durch gediegene Ausstattung und insbesondere durch die Versetzung der Figuren in den Text allen gewünschten Anforderungen zu entsprechen gesucht.

Esslingen, im November 1893.

Der Verfasser.

Vorwort zur dritten Auflage.

Vorliegendes Buch hat bei Dilettanten, Mechanikern, Ärzten, Lehrern, insbesondere bei solchen, die sich am Handfertigkeitsunterricht beteiligen, und vielfach bei reiferen Schülern Eingang gefunden. Es sind darum die Aufgaben aus der Praxis vermehrt und um der Schüler willen geschichtliche Notizen beigefügt, dagegen einiges Theoretisches gestrichen worden. Doch auch der Praktiker wird wieder eine Anzahl neuer Apparate, Messinstrumente, Dynamo- und Triebmaschinen, in genauer Beschreibung und Zeichnung und manche der früheren in präciserer Darstellung antreffen.

Dem Induktorium wurde besondere Aufmerksamkeit gewidmet.

Um dem Studierenden den Übergang von der Vorschule zu Fachwerken zu erleichtern, sind die Bezeichnungen des Elektrikerkongresses zu Chicago aufgenommen und auf ausdrücklichen Wunsch ein Verzeichnis der wichtigsten Litteratur beigegeben worden.

Allen den Herren, die durch Zuschriften und Besprechungen zur Vervollkommnung des Werkes

beigetragen und den Verfasser in seiner Arbeit ermuntert haben, wird noch an dieser Stelle der freundlichste Dank ausgedrückt.

Die Verlagshandlung ist wieder trotz der Vermehrung des Werkes in Text und Figuren allen Wünschen des Verfassers gerne entgegengekommen.

Esslingen, im Mai 1897.

Der Verfasser.

Inhaltsverzeichnis.

I. **Quellen der Elektricität: Galvanische und thermoelektrische Elemente. S. 1—86.**

Volta's Versuch; andere physiologische Erscheinungen. Säule von Volta. Wollaston-, Koks-Element. Gefässe. Nachweis des Stromes: Galvanoskope, Galvanometer.

Amalgamieren der Zinke. Hauptverbindungen der Elemente: Wasserzersetzung. Chemische Vorgänge in einem Element: Versuche, Erklärungen, Folgerungen, Vergleichungen, Spannung, Stromstärke, Widerstand. Polarisation und deren Gesetze.

Döbereiner-Daniell-Element. Poröse Gefässe: Zweck, Anfertigung. Elemente von Callaud-Krüger, Minotto, Cabaret, Meidinger. Chemische Vorgänge in Kupfersulfat-Elementen. Ätzkali-Element und Abänderungen.

Kohlen-Elektroden; Spannungsreihe. Kriechen der Salze. Verbindungsschrauben und Polklemmen. Zinke. Braunstein-Elemente. Marié-Davy-Element. Bichromat-Elemente. Fuller. Tauch- und Abflussbatterien. Salpetersäure-Elemente: Bunsen, Grove. Füllen und Entleeren einer Batterie. Säuren.

Wolker-Element. Trocken-Elemente: Zamboni, Gassner, Méresole, Nehmer. Normal-Elemente: Post-Office, Clark. Widerstand eines galvanischen Elementes. Tabelle über die elektromotorischen Kräfte und Widerstände einiger Elemente. Anwendung dieser Tabelle zur Berechnung von Stromstärken.

Verwendbarkeit einiger Elemente. Eigenschaften eines guten Elementes. Materialverbrauch in Elementen für eine Pferdekraft- und eine Kilowatt-Stunde.

Elektromotorische Kraft bei offenem und geschlossenem Stromkreis. Schaltungen der Elemente nebst Beispiel für 20 Elemente; Berechnungsaufgaben.

Thermoelektrische Elemente, Versuch über Stromstärke und elektromotorische Kraft.

Wirkungen des galvanischen Stromes. Nutzarbeit eines Stromes. Preise einiger Chemikalien.

II. **Accumulatoren oder Stromsammler. S. 87–112.**

Princip und Zweck, Gas-Element, chemische Vorgänge, Accumulatoren und Kondensatoren. Eine wohlfeile Zelle. Formation: Planté, Faure. Gefaltete Platten. Gitter-, Röhren-Accumulatoren. Weiches Blei auf Accumulatorplatten. Halbflüssiger Elektrolyt. Verbindungen der Zellen. Einbau der Tudorplatten. Ein Taschen-Accumulator und Briquet de Saturne. Regeln und Formeln. Ein Umschalter für Stromsammler. Aufstellung. Behandlung, besonders in Laboratorien. Aufgaben. Accumulatoren in einer Beleuchtungsanlage.

III. **Maass der Ströme; Messinstrumente. S. 113—182.**

Methoden, die Stromstärke zu messen:

Aus chemischen Wirkungen: Wasser-, Kupfervoltameter, Glasbohren, Aufgaben. Tabelle über Äquivalente. Lippmann's Galvanoskop.

Aus magnetischen Wirkungen: Galvanoskope, Galvanometer; Anfertigung von Magnetnadeln, 3 Galvanoskope; Stromrichtung und Nadelausschlag; Messung mittels des Kompasses; Multiplikatoren, astatisches Nadelpaar, Vertikalgalvanometer; Galvanometer und Vergleichung von Widerständen; Tangentenbussolen: Anfertigung, Teile, magnetisches Feld und Kraftlinien, Permeabilität; Tangentengesetz; mechanische Darstellung desselben; Eichung der Tangentenbussole, graphische Darstellung der Resultate; Tangententabelle. Nebenschluss.

Anwendungen der Tangentenbussole: Bestätigung des Ohm'schen Gesetzes, Leitungswiderstand eines galv. Elementes und der Bussole selbst, Bestimmung der Leitungsfähigkeit von Metallen, Vergleichung der elektromotorischen Kräfte zweier galvanischer Elemente. Vergl. XV.

Spannungsmesser oder Voltmeter: Tangentenvoltmeter; Berechnung, Anfertigung, Eichung mit Normalelement, mit

Kupfervoltameter, mit geeichtem Voltmeter und mit Accumulator; Schuckert-Hummel, Volt- u. Ampèremeter von Hardtmann-Braun.

Stromwender: Aufgabe, mit Quecksilber, mit Holzwalze, von Dujardin, mit Nachweis des Polarisationsstromes; Stromwender von Bertin.

Stromschlüssel.

IV. **Galvanoplastik und Galvanostegie. S. 183—208.**

Begriffe. Bestandteile einer Einrichtung. Wahl der Elemente. Stromstärke und Stromspannung, Tabellen. Leitungsdrähte; Dauer eines elektrolytischen Prozesses.

Galvanoplastik: einfacher Apparat, das Bad, die Matrizen, Metallisation der Matrizen.

Galvanostegie: Dekapieren der Gegenstände; Kupferbad nach Pfanhauser, Roseleur, Swan; Vernickelung; Versilberung, Kontakt-, Eintauch-, Glas-Versilberung; Vergoldung; Vermessingung; Aluminium-, Eisenbad.

Bestimmung der Stromrichtung mittels Elektrolyse.

Herstellung der Bäderkasten. Eine galvanoplastische Anlage mit Dynamomaschine. Fernere Zweige der Elektrochemie: Heliogravüre, Reinmetallgewinnung, Gravieren.

V. **Glüherscheinungen; Anzünder und Glühlampen. S. 209—234.**

Wärmewirkungen des elektrischen Stroms. Joule'sches Gesetz. Stoffe der Glühfäden. Platinlampen. Tabelle der Wärmefarben. Anzünder und Anzündeeinrichtungen. Druckknöpfe. Stromschlüssel. Automatische Anzündungen. Elektrische Zündungen.

Glühlampen von Edison, Swan, Cruto, Siemens & Halske. Lampenfassungen.

Glühlampe zur Selbstanfertigung. Tragbare Glühlampe. Stromverteilung: Ohm's Gesetz, Widerstand und Dimensionen eines Leiters, Parallel- und Reihenschaltung; Stromberechnung in Beleuchtungsanlagen.

Rheostaten: Formen, Zweck, Strom und Verteilung.

Dauer und Preise der Lampen. Tabellen für Lichtstärke

und Spannung. Aufgaben. Wohnungsanlagen: Lampen, Stromleiter, Widerstände.

Kosten der Glühbeleuchtung mit Elementen und Accumulatoren.

VI. **Bogenbeleuchtung. S. 235—253.**

Der Davy'sche Lichtbogen. Lichteinheiten. Kontaktlampe von Wendermann und Abänderung.

Die Kohlen: Fabrikation, Durchmesser und Stromstärke, Stromstärke und Bogenlänge.

Handregulator. Regulator d'Archerau. Schwingender Regulator. Kerze Jablochkoff. Sonnenlampe. Nebenschluss- und Differentiallampe.

Kosten der Beleuchtung mit Glüh- und Bogenlampen. Arbeit des Stromes. Beispiele. Aufgaben.

VII. **Stromleiter: ihre Widerstände, ihre Erwärmung. S. 254—285.**

Material, Formen, Hüllen, Durchmesser der Stromleiter.

Tabellen für Drahtlehren. Widerstandsgesetze. Widerstandstabellen über Kupfer, Eisen, Kohlen, Nickelin.

Versuche über die Erwärmung der Leiter. Joule'sches Gesetz. Grenzen der Erwärmung des Leitungsweges in Anlagen, Bügeleisen, Kauterisation, Cardew's Voltmeter; Schweissen; Brüteeinrichtung. Spannungsverlust mit Beispiel; Dreileitersystem. Querschnitt der blanken und umhüllten Drähte mit Tabelle. Gewichte der Seiden- und Baumwollhüllen mit Tabelle. Rheostaten, weitere Formen. Tabelle für Gewichte und Widerstände von Eisendrähten. Tabelle für Widerstände der Kohlenstäbe. Tabelle der Widerstände von Nickelindrähten. Bifilare Wickelung, Widerstandsspulen. Widerstandskasten. Flüssigkeitswiderstände. Berechnung eines Rheostaten. Anwendungen der Rheostaten. Abschmelzvorrichtungen mit Tabelle. Preise der Leitungsdrähte.

VIII. **Elektromagnete: Konstruktion, Berechnungen. S. 286—308.**

Begriff: temporärer, permanenter, remanenter Magnetismus. Formen und Anfertigung der Magnete: Ausglühen des Eisens, magnetischer Widerstand, Dimensionen für ein Läutwerk. Be-

nennungen. Rollen: Hülsen, Bewickelung, Wickelmaschine, Verbindung zweier Magnetrollen.

Regeln über die Konstruktion der Elektromagnete. Magnetmotorische Kraft. Berechnung der erregenden Kraft. Tragkraft der Elektromagnete. Stromrichtung und Polarität des Eisenkernes. Dimensionen dreier Elektromagnete.

IX. **Haustelegraphie: Läutwerk, Klappen, Anlagen. S. 309—359.**

Bestandteile eines Läutwerks. Anfertigung eines Rasselwerks: Montierung, Elemente, Stromlauf, Regulierung; mögliche Fehler.

Tabelle über die Verhältnisse elektrischer Klingeln. Läutwerk für starken Schlag. Einschlagglocke. Verschiedene Fortschellglocken. Elektrische Trompete und Feder. Klingel für Reihenschaltung. Einschlagglocke und Rasselwerk vereinigt. Zugschlüssel. Birndruckknopf. Zwei Morseschlüssel. Das Relais. Klappen. Skizze. Telegraphieren mit Klingel und Morseschlüssel. Morsealphabet. Übertragung der Morsezeichen in Buchstaben. Leitungsskizze und Kostenanschläge. Hotel-Nadeltelegraph. Selbstthätige Meldeapparate. Temperaturanzeiger. Uhrzeichenmelder. 2 Feuermelder. Klingeln mit Ruhestrom. Die Leitungsanlagen: Leiter, Elemente, Berechnungen. Skizzen für Leitungsanlagen. Ein Wasserstandsanzeiger. Betriebsstörungen.

X. **Induktion und Induktionsapparate. S. 360—405.**

Grunderscheinungen: Galvano-, Magnetinduktion. Kraftlinien und Induktionsströme mit Richtungsregel. Gesetze der Induktion. Selbstinduktion; Gesetze der Selbstinduktionsströme, ein Selbstinduktionsapparat, Experimente mit dem Selbstinduktionsapparat. Gasanzünder.

Induktionsapparat: Zweck, Bestandteile, Funkenlänge, EMK, Funkengrösse, Konstruktion; Tabelle über Dimensionen; Licht-, Wärme-, physiologische, induzierende Wirkungen; Versuche im gasverdünnten Raume, Geissler'sche Röhren; magnetelektrische Erscheinungen; alternierende Entladungen; Glühlampen; barometrische Luftverdünnung; elektrische Sterne. Funken und Lichthülle. — Unterbrecher von Helmholtz. Anwendung der Induktionsrollen. — Grosse Induktorien. — Mögliche Fehler in Induktorien. Entladungsspannungen.

XI. **Telephon und Mikrophon. S. 406—438.**

Versuche mit Anwendung. Konstruktion des Telephons. Verhältnisse der magnetischen Telephone. Sender, Empfänger; Vorgänge bei einer Gesprächsübertragung. Stärke des Stahlmagneten und Dimensionen der Eisenplatte. Gespräch, Leitungsskizzen.

Das Mikrophon: Zweck, einfache Formen, Wirkungsweise; abgeänderte Formen; Platten, Kohlen, Kontakte; Mikrophon Blake, Edison, Berliner. Mikrophon mit Induktionsrolle. Widerstände einiger Telephone und Mikrophone. Apparate einer telephonischen Station. Kostenanschlag einer mikrotelephonischen Anlage innerhalb eines Gebäudes.

Skizze für eine vollständige mikro-telephonische Anlage. Einige Apparate zur Unterhaltung. Skizze für eine vollständige mikro-telephonische Anlage mit Läuteinduktor. Telephonverbindung mit einem fahrenden Eisenbahnzug mittels kleinen Wagner'schen Hammers oder elektrischer Stimmgabel. Betriebsstörungen.

XII. **Der elektrische Telegraph und elektrische Uhren. S. 439—458.**

Zweck der Telegraphie, wesentliche Teile einer telegraphischen Station. Nadeltelegraph mit Vertikalgalvanometer. Der Klopfer. Modell eines Morseschreibtelegraphen. Ein Elektromagnet für den Morse-Telegraphen im öffentlichen Dienst. Skizze für eine Verbindung von 2 Telegraphen-Stationen. Arbeits- und Ruhestrom. Bonelli. Elektrisches Zeigerwerk; elektrischer Zeigertelegraph. Elektrische Pendeluhr; Nebenuhr. Uhrregulatoren. Entmagnetisierung. Geschichtliches.

XIII. **Magnetelektrische Motoren. S. 459—477.**

Wesen der Elektromotoren. Barlow's Rad Arbeit und Kosten der Elektromotoren. Elektromotor von Ritchie mit Abänderung. Elektromotor mit Tretrad. Der Sternelektromotor. Der Motor mit Balancier Rotation eines Stromes um einen Magneten, Wirkung der elektrischen und magnetischen Kraftlinien. Rotation eines Magneten um einen Strom. Rotation eines Stromes um den andern. Garthe's Rotationsapparat mit Darstellung der Kraftlinien. Motor für Nähmaschinen. Geschichtliches.

XIV. **Magnetelektrische und dynamoelektrische Maschinen. S. 478—569.**

Scheibe von Faraday. Begriff der magnetelektrischen Maschinen. Der Doppel-T-Anker: Wechsel-, Gleichströme. Magnetelektrische Maschine von Trouvé. Versuche mit der magnetelektrischen Maschine; Klingeln mit Wechselströmen. Polarisierte Elektromagnete. Läuteinduktor. Der Doppel-T-Anker mit einem Elektromagneten: Hauptschluss-, Nebenschluss-, Doppelschluss-Maschine. Der Ringanker im Modell einer Dynamomaschine. Anfertigung einer kleinen Dynamomaschine. Eine Gramme-Maschine: Berechnung Motor für Nähmaschinen. Innenpolmaschine Eine 20-Lichtmaschine. Ein selbstthätiger Ladeunterbrecher für Accumulatoren. Einige Triebkräfte für Dynamomaschinen. Modell eines dynamoelektrischen Motors. Ein dynamoelektrischer Motor. Maassangaben über eine zweipolige Dynamomaschine für galvanoplastische Zwecke von 5 Volt und 25 Ampère. Maassangaben für zwei Zweipolmaschinen mit Ring- und mit Trommelanker. Ein zweiter Motor für Nähmaschinen. Dynamomaschine und Elektromotor der Maschinenfabrik Esslingen. Vielpolmaschine. Maassangabe über eine 4-Polmaschine und über eine $\frac{1}{2}$pferdige Maschine. Aufgaben.

Ein Apparat für Wechsel- und Drehströme. Stromkurven für Gleich- und Wechselströme. Geschichtliches.

XV. **Differentialgalvanometer und Brücke. S. 570—598.**

Konstruktion des Differentialgalvanometers; Schaltungen der Spulen; ein Etalon, Vergleichung von Widerständen, Tabelle für spec. Widerstände; Anwendungen der Tabelle; Messung des Widerstandes kürzerer Drähte; Widerstände galvanischer Elemente. Schaltung von Clark.

Prinzip der Messbrücke; einfachste Formen und Versuche; abgeänderte Formen; Widerstand eines galvanischen Elementes. Methode der Gegenschaltung; Vergleichung von Widerständen mit Beispielen; Galvanometerwiderstände; Brücke mit Wechselströmen. Ausbreitungswiderstand von Blitzableitern.

Stromverzweigungen: Gesetze; einfache Stromverzweigung; Beweise für 2 und 3 Leiter; Konstruktion. Parallaxe.

XVI. **Technische Notizen. S. 599—604.**
Behandlung der Apparate. Bearbeitung von Glas.

XVII. **Das absolute Maasssystem. S. 605—608.**
Griechisches Alphabet.

Tabellen.

Elektromotorische Kräfte und Widerstände in Elementen . . 62
Stromeinheiten und chemische Maasse 115
Atomgewichte und Äquivalente 120
Tangententabelle 161
Widerstände in Voltmetern 168
Stromstärke und Niederschlagsgewichte 184
Voltzahlen in Bädern 185
Stundenampère und Niederschlagsgewichte 186
Wärmegrade und Farbenstrahlen 211
Lichtstärken, Stromstärken und Spannungen. 229
Lichtstärke und Energieverbrauch 230
Lichteinheiten 237
Kohlendurchmesser und Stromstärke 237
Kohlen und Stromstärke 238
Ampère und Volt in Bogenlampen 249
Drahtlehren . 256
Widerstand eines Kupferdrahtes 258
Telegraphische Einheiten 259
Drahtdurchmesser für Solenoide 264
Dicke der Baumwollhüllen 269
Gewicht der Drahthüllen 270
Widerstand der Kohlenstäbe 273
" " Nickelindrähte 273
Leicht schmelzbare Legierungen 283
Bleisicherungen 284
B, μ, H für Schmiede- und Gusseisen 302
Erregende Kraft in Ampèrewindungen 304
Magnetisierung und Tragkraft 305
Verhältnisse elektrischer Klingeln 317
Dimensionen von Induktorien 384
Entladungsspannungen 405

Namen- und Sachregister.

Seite.

Abflussbatterie 48. 49. 50.
Abscisse 84.
Abschmelzvorrichtung 282 bis 284.
Accumulatoren 87 bis 112. 171. 233. 234. 565.
Achse 44. 533.
Achsenträger 533.
Ader-Mikrophon 418. 426.
Aëromotorisch 17.
Affinität 59.
Aichen (Eichen) eines Galvanometers 129.
„ der Tangentenbussole 157. 158.
„ des Voltmeters 168 bis 170.
Aktive Masse 95. 105.
Alabastergips 189.
Alphabet, griechisches 608.
Aluminium 120. 390.
Aluminiumbad 201. 202.
Amalgam 60
Amalgamieren 9. 10.
Ammoniaksalz 37. 38.
Ampère 21. 68. 79. 114. 115. 117. 120. 131. 472. 484. 608.
Ampèremesser 112. 114 bis 125. 141 bis 147. 173 175.
Ampère-Minute 115.
Ampère-Stunden 21. 67. 108. 117.

Seite.

Ampère-Windungen 209. 298 301. 399. 403.
Analogie 16. 71. 368.
Anode 118. 387. 391.
Anker 295. 296. 310. 493. 513. 520. 533. 552. 553.
Ankleben 452.
Anlage, galvanoplastische 206.
Anrufapparat 433.
Antriebskraft 515.
Anwendung der Indukionsrollen 397.
Antimon 31. 120.
Antozon 88.
Anzünder 212 bis 214. 345.
Apparate einer telegraphischen Station 426 bis 428.
„ zur Unterhaltung 430. 431.
Aquamotorisch 16.
Äquivalent 13. 130.
Arbeit 17. 83. 123. 249. 252. 605.
„ mechanische 252.
Arbeit und Kosten der Magnet-Elektromotoren 460.
Arbeitsleistung 82 bis 84.
Arbeitsstrom 446.
Archerau-Regulator 241. 242.
Arsenige Säure 57. 201.
Asbest 56.

Astatisch 133 136.
Atmosphäre 17. 40.
Atom 13.
Ätzkali 85.
Ätzkalielement 29. 30. 64. 351. 427.
Aufgaben 74 bis 76. 120 bis 123. 253. 263. 280. 497. 555. 556. 577. 596. 597.
Aureole 385. 395.
Ausbreitungswiderstand 59J.
Auslader 385.
Automatischer Anzünder 213.
„ Feuermelder 342.
Automatische Meldeapparate 339.
„ Uhrzeichen 344.
„ Verbindung 433.
𝔅 151. 302 bis 306.
Bad 185.
Bäderkasten 205.
Barlow's Rad. 459. 460.
Balancier-Motor 466.
Barium-Platincyanür 392.
Barometrische Luftverdünnung 394.
Batterie 14. 49. 71.
Batteriewähler 215
Baudraht 428.
Baumwollhüllen 270.
Behandlung d. Akkumulatoren 110
Behrens 55.
Beispiele 162 bis 166. 186. 175. 176. 180. 251. 267. 306. 587.
Beleuchtungs-Anlagen 112. 223 bis 228.
Bell-Telephon 406. 425.
Benzin 116.
Benzoësäure 195.
Berechnung von Beleuchtungsanlagen 223 bis 228.
„ der erregenden Kraft 300. 301.
„ von Stromstärken 63.
„ einer Gramme-Maschine 518 bis 522.
Berliner Mikrophon 422.
Beschleunigung 605.
Betriebsgrössen einer Dynamo 501.
Betriebsstörungen 358. 359. 403. 438.
Bewicklung der Trommel 526.
Bichromat 42. 47. 64. 67.
Bifilarwickelung 277.
Bipolar 479.
Blake-Mikrophon 420.
Blänsdorf 270.
Blei 31.
Bleioxyd (Bleiglätte) 88. 89. 95.
Bleisicherungen 282 bis 284.
Bleisuperoxyd 95.
Blitzableiter 590.
Blutegel 3.
Bogenbeleuchtung 235 bis 249.
Bohnenberger 55.
Bonelli 450.
Borel 569.
Bosanquet 289.
Böttcher 203.
Braunstein 31. 36. 37.
Braunsteinelement 37 bis 41. 426.
Brewster 286.
Briquet de Saturne 103.
Brücke = Messbrücke.
Brunk 345.
Brush 569.
Brüteeinrichtung 265.

Bügeleisen 265. 266.
Bunsen-Element 50. 185. 846.
Bürsten 476. 511. 512. 537.
Bürstenhalter 511. 527.
Cabaret-Element 26.
Callaud-Krüger 24.
Calorie 608.
Capacität = Kapacität
Cardew-Voltmeter 266.
Cauterisation 266.
Chaperon-Element 29.
Chemikalien-Preise 85. 86.
Chemischer Telegraph 450. 451.
Chemische Vorgänge in Elementen 12 bis 15. 28. 29. 37. 38. 42. 51. 52.
Chemische Vorgänge in Sammlern 89.
Chemische Wirkungen 81. 114 bis 117. 386.
Chlor 13.
Chlorammonium 55.
Chlorblei 37.
Chlorplatin 53.
Chlorquecksilber 57.
Chlorsilber 197.
Chlorwasserstoff 13. 394.
Chlorzink 37. 55.
Chlorzinkammoniak 39
Chromalaun 42.
Chromsäureelement 42 bis 46.
Citronensäure 194.
Clark 581.
Clark-Element 60.
Cliché 184.
Compoundmaschine = Doppelschlussmaschine.
Constante = Konstante.
Cooke 458.
Coulomb 21.
Coulombzähler 123.
Cowan 565.
Cruto-Lampe 219.
Cyankalium 193 bis 202.
Darcet 189.
Daniell-Element 20. 21. 59. 64. 67.
Darstellung, graphische 67. 70. 84. 159.
Dauer der Lampen 228.
„ eines elektrolyt. Prozesses 186. 187.
Davy 11. 235. 458.
De la Rive 196.
Demonstrationsversuch 406. 421.
Depolarisation 30. 57. 64.
Dextrin 57.
Diamagnetisch 308.
Diamant 390.
Diaphragma = Thonzelle 36.
Differentialgalvanometer 570 bis 581. 598.
Differentiallampe 248.
Dimensionen der Telephon-Eisenplatten 409. 410. 413.
Dimensionen von Elektromagneten 308. 444. 445 452.
Dimensionen von Induktorien 384.
„ von Magnetschenkeln 295.
Discher 580.
Döbereiner 20.
Dolbear 430.
Doppelkommutator 558.
Doppelkurbelrheostat 276.
Doppelschlussmaschine 500.

Doppel-T-Anker 481 bis 483. 486. 497. 566.
Drahtlehre 255. 256.
Drahtstärke 540. 541.
Drahtverhältnisse 540.
Drehfeld 562. 565.
Drehströme 561 bis 581.
Drehungsrichtung 539.
Dreieck, rechtwinkliges 568.
Dreileitersystem 268.
Dreiphasenstrom 561.
Druck 606.
Druckknopf 213. 331.
Druckpumpe 17.
Drummond 244.
Du Bois Reymond 377.
Durchmesser der Drähte 269.
Dujardin's Stromwender 180.
Dyn 299. 305. 306. 605.
Dynamisch 81.
Dynamoelektrischer Motor 532 bis 548.
Dynamoelektrisch.Prinzip297.513.
Dynamomaschine 206. 483. 497 bis 555.
Edison 123.
Edison-Mikrophon 420.
Edison-Wickelung 549.
Edlund 367.
Ehrhardt O. 267.
Eichen = Aichen.
Eichhorn 435.
Einbau der Tudorplatten 101.
Einführungstüllen 354.
Eigenschaften eines Elementes 65.
Einfluss der Temperatur 172.
Einschlagglocke 320.
Eintauchversilberung 198.
Einziehungskraft 298.
Eisen 120. 184. 287 bis 308.
Eisenbad 203.
Eisenbahnzug-Verbindung 435. 436.
Eisendrähte 272. 352.
Eisenplatte 412.
Elasticität 413. 416. 422.
Elektrische Feder 329.
" Trompete 327.
Elektrochemie 207.
Elektrode 7. 29. 62. 88. 95. 96. 118.
Elektrodynamik 470.
Elektrolyse 7. 114. 117. 203.
Elektrolyt 7. 100. 386.
Elektrolytisch 114. 115. 123. 387.
Elektromagnet 286 bis 308. 444. 445. 452. 488. 559.
Elektrometallurgie 208.
Elektromotoren, magnetelektr. 459
Elektromotorisch 16. 19. 31. 41. 44. 50. 58. 61. 65. 68 bis 70. 72. 75. 117. 118. 165. 398. 403. 413. 426. 607.
Elektronegativ 13.
Elektropositiv 13. 96.
Elektroskop 15.
Elektrotherapie 64.
Elemente 1 bis 68 473.
Empfängertelephon 411.
Empfindlichkeit eines Galvanometers 130.
Energie 15. 16.
Entladung der Sammler 106.
Entladungsspannungen 404. 406.
Entleeren der Elemente 53.
Entmagnetisierung 457.

Erdleitung 353. 354 bis 358.
Erdplatte 427. 543.
Erdöl 390.
Erdströme 427.
Erg 608.
Erregende Kraft 304.
Erwärmung des Leitungswegs 260.
Etalon 574. 575.
Extraströme 367.
Fadenspulen 80.
Farad 608.
Faraday 119. 160. 467. 478. 568.
Farbschreiber 458.
Fassungen der Lampen 220.
Faure-Akkumulatoren 95. 96.
Fawcus 565.
Feder, elektrische 329.
Fehler in Läutwerken 314. 315.
„ „ Haustelegraphenanlagen 359.
„ „ Induktorien 403. 404.
Feld, galvanisches 148. 150. 562.
Feld, magnetisches 124. 152. 481. 484. 485.
Feldmagnet 513. 515. 530. 532. 537. 541. 542.
Ferraris 569.
Fernwirkungen 81.
Feuermelder 346 bis 359.
Firnisse 600.
Flasche, Leydner 17. 47. 380. 388. 392. 488.
Flaschenelement 42. 43. 215.
Fliesspapier 28.
Fluorescenz 390 bis 392.
Flüssigkeitswiderstand 280.
Folgerungen 15. 69. 136.
Formaldehyd 198.
Formation 94.
Formeln 104.
Fortschellglocke 320 bis 324.
Fortunatglocke 324.
Foster'scher Apparat 260 261.
Franklin 590.
Froschpräparat 1. 2.
Füllen der Elemente 53. 54.
Fuller-Element 46. 47.
Funkengrösse 375.
Funkenlänge 374.
Gaiffe 39.
Galvani 1. 2.
Galvanisches Feld 148. 150.
Galvanochromie 207.
Galvanoinduktion 362.
Galvanometer 132 bis 177. 572.
Galvanoplastik 186 bis 191. 488.
Galvanoplastische Anlage 206.
Galvanoskop 8. 123 bis 130.
Galvanostegie 191 bis 208. 488.
Garthe's Rotationsapparat 471. 472.
Gasanzünder 270 bis 272. 370. 371.
Gaselement 88.
Gassiot 402.
Gassner-Element 56.
Gasverdünnter Raum 390. 391.
Gauss 456.
Gay-Lussac 590.
Gefaltete Platte 98.
Gefässe 22.
Gegenkraft, elektromot. 19.
Gegenschaltung 587.
Geissler'sche Röhren 389. 390. 392. 395.
Gekreuzte Elektromagnete 559.

Gekreuzte Ströme 472.
Gelatine 56.
Generator 538.
Geschichtliches 458. 477. 569.
Geschlossenes Element 7.
Geschlossene Wickelung 526.
Geschmack 3.
Geschwindigkeit 415. 605.
Gesetze 82.
„ der chemischen Wirkungen 386.
„ der gekreuzten Ströme 472.
„ der Induktion. 306.
„ der physiologischen Wirkungen 386.
„ der Polarisation 19.
„ der Selbstinduktion 368.
„ der Stromverzweigung 592
„ der Wärmewirkungen 385.
Gespräch mit Telephon 413.
Gewicht der Seiden- und Baumwollhüllen 270.
Gips 23. 56.
Gipsdecken 352.
Gitteraccumulatoren 99.
Glasbohren 115.
Glashütchen 120.
Glasversilberung 198.
Gleichstrom 484. 566. 568.
Gleich- und Phasenstrommaschine 564.
Gleich- u. Drehstrommaschine 565.
Glimmlicht 396.
Glocken, Klingeln 317.
Glühlampen 216 bis 223. 293.
Gmelin 90.
Gold 31. 120. 184. 185.
Goldchlorür 200.
Göpel 216.
Göttig 202.
Graduieren eines Galvanometers 129.
Graphische Darstellungen 67. 70. 84. 159.
Graphit 31. 191.
Grammkalorie 461.
Gramme-Maschine 518 bis 523. 569.
Gravieren 208.
Gray 425. 458.
Grenzen der Erwärmung des Leiters 264.
Grimsehl 469.
Grosskalorie 461.
Grosse Induktorien 400.
Grove-Element 50. 88. 402.
Grundgesetze 538.
Grunderscheinungen der Induktion 360 bis 366.
Guttapercha 285. 352.
Güteverhältnis einer Stromquelle 82. 106.
„ mechanisches 250.
H. 151. 302.
Hammer- Unterbrecher 369. 377. 435.
Handregulator 240.
Handschuh, sprechender 432.
Hardtmann-Braun 176. 380.
Harz 2. 600.
Hauck 49.
Hauptschluss 386. 537.
Hauptschlussmaschine 498. 499.
Hauptschlussmotor 538. 540. 543.

Hauptstrom, primärer Strom 378.
Haustelegraphie 39. 309—359.
Heber 46.
Hefner von Alteneck-Wickelung 548. 569.
Heliogravüre 208.
Helmholtz 396.
Henry 458. 608.
Hertz 11. 391.
Hoho 266.
Höllenstein, Silbernitrat 197.
Holzgefässe 47.
Horizontalkomponente 142 bis 144.
Hotel-Nadeltelegraph 338.
Hughes (spr. Juss) 416. 458.
Hüllen der Stromleiter 255.
Hydrogen=Wasserstoff 13.
Hysteresis 297.
Induktion 366 bis 405.
„ bipolare 479.
„ unipolare 479.
„ in die Ferne 363.
JN = Ampère-Windungen 300. 301.
Induktionsrollen 397. 398. 424.
Induktionsströme 385 bis 388. 407. 411. 479. 566.
Induktor, Läuteinduktor 386. 434.
Induzierende Wirkungen 387.
Influenzmaschine 389.
Infreville 25.
Innenpolmaschine 523. 524.
Innerer Widerstand 65.
Intensität 18.
Interpolation 160.
Inversor 457.
Jablochkoff 243.
Jakobi 182. 477.
Jamin
Jensen-Bell 324.
Jod 13. 204.
Jodkalium 2.4.
Joch 444.
Jonen 118.
Jordan 192.
Joule's Gesetz 193. 260. 263.
Kali 42. 85.
Kali, doppeltchromsaures = Bichromat.
Kalium 120.
Kaliumbichromat=doppeltchromsaures Kali.
Kalkmilch 30.
Kalorie 252. 260.
Kampfer 115.
Kapacität 100. 105. 402. 607.
Kapillarität 32.
Kathode 387.
Kathodenstrahlen 391.
Kgm 486. 529.
Keiser & Schmidt 402.
Kerzen 243.
Kilowatt 66. 67.
Kirchhoff 592.
Kirchenglocke 325.
Klappen 334.
Klappenschrank 356.
Kleinkalorie, Grammkalorie 461.
Klemmenspannung 70.
Klingel für Reihenschaltung 329.
„ „ Wechselsröme 489 bis 491.
Klopfer 441. 442.
Knallgas 160.
Kochapparat 345.

Kohle 31.
Kohlenelektroden 31.
Kohlen für Bogenlampen 237.
Kohlen-Mikrophon 420.
Kohlenplatten 419.
Kohlenstäbe 32. 237. 238. 273. 419.
Kohlensäure 390. 394.
Kohlrausch 119.
Kokselement 6.
Kokonfaden 137.
Kompass 131.
Kommutator = Stromwender.
Kondensator 92. 381. 402. 404. 430. 606.
Konduktor 387.
Konstante 68. 158.
Kontakt 3. 331.
Königswasser 10.
Konstruktion der Elektromagnete 293 bis 299. 509. 510.
Konstruktion der Elektromotoren 461 bis 465.
„ „ Galvanoskope 125.
„ „ Induktorien 375.
„ „ Telephone 408.
„ „ eines Ringes 505 bis 509.
Korrespondenzleitung 356.
Kostenanschläge 336. 357. 428.
Kosten der Glüh- und Bogenbeleuchtung 249.
Kraft 605.
Kraftlinien 146 bis 151. 364. 365. 592.
Kraftlinien u. Induktionsströme 364.
Kraftstrom 288.
Kratzert H. 167. 516.
Kriechen der Salze 32.
Krizik 247.
Kundt 396.
Kupfer 31. 120. 186.
„ bad 193.
„ drähte 258.
„ feilspäne 30.
„ oxyd 29. 30.
„ sulfat = Kupfervitriol 20. 29. 67. 204. 427.
Kupfervoltameter 118. 157. 169.
Kurbelumschalter 108. 109.
Kurbelrheostat 275.
Kurzschluss 37. 66. 506.
Laboratorium 110.
Lacke 600.
Lackmuspapier 204.
Ladeumschalter 108. 109. 527. 528.
Ladung 106.
„ positive, negative 18.
Lager 510.
Lagrange 266.
Lalande 20.
Lampe Edison 216.
„ Swan 217.
„ Cruto 218.
„ Siemens 219.
Lampenbatterie 274.
Lampencylinder 9.
Läuteinduktor 432. 492 bis 497.
Läutwerk für Wechselströme 489 bis 492.
Läutwerke 307 bis 330. 488. 489 bis 492.
Lebensdauer der Lampen 228.
„ „ Sammler 106.
Leclanché-Element 39.
Lehren, Draht-, 256.

LeichtschmelzbareLegierung. 283.
Leistung 514. 523. 524. 539.
Leitersysteme 268.
Leitung, Telegraphie- 448.
Leitungsanlagen 351.
Leitungsdrähte 185. 284.
Leitungsfähigkeit 164. 251.
Leitungsprüfer 127 bis 130.
Leitungswiderstand 162. 414.
Lenz'sches Gesetz 539. 562.
Leuchtkraft und Spannung 228.
Leydner Flasche, Flasche Leydner.
Licht 211.
Lichtbogen 235.
Lichteinheiten 237.
Lichterscheinungen, elektr. 389.
Lichthülle 395.
Lichtschimmer 3.
Linearrheostat 274.
Linkehand-Regel 365.
Linienbatterie 446.
Linienleitung 428.
Lippmann-Galvanoskop 121.
Löten 6. 353.
Lötmetalle.
Lötwasser 353.
Lüdtge 416.
Luckow 98.
μ 289. 301.
Magnetelektrische Stromerzeuger 478 bis 496. 498.
Magnetelektrische Motoren 460 bis 468. 488.
Magnetinduktion 361.
Magnetisches Feld 146. 411.
Magnetischer Stromkreis 288. 521.
Magnetmotorisch 299 bis 301.
Magnetnadeln 125.
Magnetstärke 294.
Magnetische Wirbel 148.
Magnetische Wirkungen 81. 123.
Magnetisieren 308.
Magnetisierende Kraft 399.
Mance 586.
Manganhyperoxyd 36.
Manchesterform 550. 553. 554.
Manteltransformator 399.
Manometer 71.
„ röhren 261.
Marié-Davy-Element 41.
Marineleim 8. 190.
Maassangaben 515 bis 518. 524 bis 527. 552 bis 555.
Materialverbrauch in Elementen 66 bis 68.
Matrizen 189.
Maxwell 305.
Mechanische Darstellung des Tangentengesetzes 155.
Mehrkontaktig 420.
Mehrphasenstrom 567.
Meldeapparate 339 bis 349.
Meidinger-Element 26. 27. 108.
Medizinische Zwecke 90. 376.
Mennige 95.
Melsens 590.
Méresole-Element 57.
Meridian 131.
Messbrücke 581 bis 592. 598.
Messing 184.
Metallisation 190. 191.
Meterbrücke 585.
Methoden, die Stromstärken zu messen 114 bis 178.
Methoden, die Spannungen zu messen 166 bis 177.

Methylanilin 205.
Mikrophon 416 bis 433.
Mikro-Telephonstation 432. 433.
Milliampère 387.
Minenzündung 216. 385.
Minotto-Element 26.
Mittelleiter 268.
Modell einer Dynamomaschine 501 bis 504.
Modell eines dynamoelektr. Motors 530.
Molekül 119.
Montierung eines Läutwerks 312.
„ einer Dynamo 512.
Morse 458.
Morseschlüssel 332. 335. 440.
Morseschreiber 443 bis 446.
Morseschrift 337. 441.
Motor 532 bis 540.
» mit Balancier 465. 466.
» für Nähmaschinen 474 bis 476. 544.
Motor-Modell 580.
Multiplikator 132. 136 bis 139. 571.
Muskelstrom 134.
Nachweis des Stromes 8.
„ „ Muskelstromes 134.
„ „ Polarisationsstromes 180.
Nadelfeile 115.
Nährungsregel 527.
Nähmaschine 474. 488.
Natrium 120.
Natriumbichromat 6. 42. 47. 64.
Natron, doppeltchromsaures = Natriumbichromat
Natron, kieselsaures 23.
Nebenrolle, sekundäre Rolle 373. 399.
Nebenschluss 130. 131. 496. 537.
Nebenschlusslampe 246. 247.
Nebenschlussmaschine 499 bis 515. 556.
Nebenschlussmotor 538.
Nebenuhr 455.
Negativer Pol, Zinkpol 20. 28. 205.
Nehmer H. 57.
Nerwander 143.
Neusilber 254.
Neusilberdraht 167. 275.
Neutrale Linie 538. 552.
Niaudet 474.
Nicholson 11.
Nickel 120. 184.
Nickelcitrat 277.
Nickeldraht 273.
Nickelphosphat 195.
Nickelsulfat 195.
Nickelin 254.
Nordlicht 427.
Normalelement 58 bis 81. 129. 168.
Normalglühlampe 555.
Normalkerzen 229.
Normalquerschnitt 165.
Nullfläche 17.
Nullmethode 598.
Nutzeffekt 83.
Oberfläche u. Erwärmung 299.
Oersted 123.
Offenes Element 7.
Offener Stromkreis 68.
Offene Wicklung 485.
Öffnungsstrom 360. 361. 392. 397.
Ohm 21. 592.
Ohm-Widerstand 160. 574. 607.

Ohm'sches Gesetz 18. 68. 160. 162. 223. 289.
Ohr 411.
Omnibusleitung 449.
Ordinate 84.
Ortsbatterie 447.
Oscillierend 393.
Ozon 88.

Pacinotti 518. 566. 569.
Page 465. 477.
Paraffin 189. 381.
Parallaxe 597.
Parallelogramm der Kräfte 561.
Parallelschaltung 207. 224. 225. 227.
Pendelanzeiger 335.
Pergamentpapier 23.
Periode 561.
Permeabilität 151. 301.
Perpetuum mobile
Pfanhauser 193.
Pferdekraftstunde 66. 67.
Pferdekräfte und Lampen 229.
Pferdekraft und VA oder Watt 252. 524. 529. 555.
Phase 561. 568.
Phasenströme 537 bis 561. 565.
Phelps 435.
Phenolphtaleïn 205.
Phosphor 88. 385.
Phosphorescenz 390.
Photographie 197.
Photometrieren 220.
Physiologisch 2. 3. 81. 370. 386. 487.
Pixii 569.
Planté 90. 97.
Platten, Mikrophon- 419.
Platin 52. 120.
Platindraht 211.
Platinlampe 211.
Poggendorff 168. 398. 457.
Pol 18.
Polarisation 18. 19.
Polarisierter Elektromagnet 489.
Polbestimmungen, chemische 204.
Polklemmen 32. 33.
Pollose Kerne 307. 399.
Polschuhe 290. 494. 521. 525.
Polstärke 606.
Porwell 195.
Positive Kohle 238.
Positives Licht 391.
Positiver Pol 12. 20. 27. 204.
Post-Office 59.
Potentialdifferenz 16.
Potentiell 16.
Preece 363.
Preise der Glühlampen 229.
„ „ Leitungsdrähte 284.
Princip der Beleuchtung 210.
„ „ Sammler 87.
„ „ Mechanik
„ des Voltmeters 435.
„ der Verbindung mit Eisenbahnzügen 173.
Prüfung der Elemente 76.
„ „ Glühlampen 220.
Pulvermacher-Element 5.
Pyrolusit 36.

Quantität, elektr. 21. 22.
Quecksilber 10. 394.
Quecksilbersulfat 41.
Querschnitt der Drähte 268.

$\mathfrak{R} = \frac{L_m}{Q_m M_m} + \frac{L_a}{Q_a u_a}$. 289.

Rapieff 245.
Rasselwerk 309 bis 314.
Reaktion = Rückwirkung.
Reagensröhre 204.
Rechnungsbeispiele 63. 68. 72. 351.
Rechtehand-Regel 365.
Reducierte Länge 165.
Reduktionsfaktor 158.
Regeln über Elektromagnete 293.
" " Motoren 539.
" " Sammler 104.
Regulatoren für Bogenlampen 240 bis 249.
Reihenschaltung 207. 224 bis 227.
Relais 333. 334. 446. 447.
Remanenter Magnetismus 297.
Reichspost-Modell 141.
Reis Ph. 406.
Resonanz 387.
Resultierender Strom 568.
Richtmagnet 130.
Riemenscheibe 509. 526.
Ringanker 501 bis 508. 520. 523.
Ringmagnet 412.
Ringtransformator 399.
Ritchie 461 bis 463.
Ritter 11. 89.
Rheostat 273 bis 281.
Roberts 216.
Röhrenaccumulator 99.
Rollen für Elektromagnete 290 bis 292.
Romaguesi 123.
Röntgenstrahlen 392.
Roseleur 193.
Rosolsäure 205.
Rotationen 467 bis 471.
Rubin 390.
Rückwirkuug (Reaktion) des Ankers. 501.
Ruhestrom 349. 350. 449.
Ruhestromschaltungen 449. 450.
Rühmkorff 373.
$\mathfrak{S}$ = 289. 300. 301. 302.
$\mathfrak{S} = \frac{\mathfrak{F}}{\mathfrak{R}}$ 300. 301.
Sackelement 36. 37.
Sägemehl 56.
Salmiak 37.
Salpetersäure 13. 50. 54. 85. 93. 95.
Salzsäure = Chlorwasserstoff 13.
Sättigungspunkt 296.
Sauerstoff 11.
Säuredichte 105.
Säuren 13. 54.
Saxton 569.
Schaltbrett 112.
Schaltung der Bäder 207.
" " Elemente 10. 11. 71 bis 74.
Schaltung der Lampen 224. 225.
" " Sammler 102. 105.
" " Spulen 292. 573.
Schaltungsskizzen, Skizzen.
Scheibe von Faraday 478. 479.
Schellack 86.
Schellackfirnis 380.
Schiessbaumwolle 385.
Schilling 458.
Schleife 227.
Schlemmen 181.
Schliessungsextrastrom 367.
Schlussanker 561.
Schlittenapparat 377.
Schlüssel 442. 446.
Schnurlauf 484.

Schönbein 18. 88.
Schwefel 55. 189.
Schwefelkalcium 390.
Schwefelkalium 199.
Schwefelkohlenstoff 191.
Schwefelsäure 13.
Schwefelwasserstoff 55.
Schweigger 132.
Schweissen, elektr. 266.
Schwimmender Strom 468.
Schwingender Regulator 242.
Schwingungsweite 416.
Seebeck 76.
Seidenhülle 270.
Sekundäre Rolle = Nebenrolle.
Selbstinduktion 366 bis 370. 608.
Selbstthätige = automatische
Selbstunterbrechung 309. 311.
Sicherheitsvorrichtung 339. 342.
Siemens 569.
Siemenseinheit 21. 575.
Siemens-Halske 219. 279. 402. 425. 458. 481.
Siemens-Wicklung 527.
Silber 120. 184.
Silbervoltameter 160.
Siliciumbroncedraht 428.
Sinsteden 89. 569.
Skizzen 354 bis 358. 424. 427. 429
Smaragd 390.
Solenoid 150.
Sömmering 458.
Sonnenlampe 245.
Spannung 16. 104. 229. 483.
Spannungsmesser = Voltmeter.
Spannungsreihe 31. 77.
Spannungsverlust 68. 267.
„ in Elementen 68.
Spannungsverlust in Leitungen 267.
„ in Dynamos 557.
Specifisches Gewicht 186.
Specifischer Widerstand 251. 576. 577.
Spencer 119. 182.
Spiegelablesung 137.
Stahl 408.
Stahlhärtnen 492.
Standard-Wire-Gauge 255. 256.
Stearin 189.
Steinheil 458.
Stellschraube 132.
Sterne, elektr. 394. 395.
Sternelektromotor 464.
Stettiner Elektricitätswerke 347.
Stimmgabel, elektr. 415. 437. 438.
Stickstoffgas 390. 394.
Stöhrer 380. 569.
Störungen 65. 439.
Streifung 396.
Stromdichte 105. 157. 188.
Stromfeld 150.
Stromkreis, magnet. 289.
Stromkurven 565 bis 568.
Stromleiter 232. 254 bis 282.
Stromlinien 591.
Stromprüfer 128. 129.
Stromrichtung 130. 203. 204. 307. 365.
Stromschlüssel 182. 214.
Stromstärkeeinheit 21. 114. 117. 607.
Stromverteilung 223 bis 225.
Stromverzweigung 592 bis 597.
Stromwender 178 bis 181. 232. 378. 441. 484. 531. 533. 566. 573.

Sturgeon 9.
Substitutionsmethode 141.
Sulzer 3.
Swammerdam 2.
Swan 193.
Swan-Lampe 217.
Synchron 560.
Tabellen 62. 115. 120. 161. 168. 184. 185. 186. 211. 229. 230. 237. 238. 249. 256. 258. 259. 264. 269. 270. 275. 283. 284. 302. 304. 305. 317. 384. 405
Tangentenbussole 141 bis 158.
Tangentengesetz 153. 155 bis 157.
Tangentenvoltmeter 166. 167.
Taschenaccumulator 103.
Tauchbatterie 47.
Taster 440.
Technische Notizen 599 bis 602.
Telegraph 439 bis 450.
Telegraphieren 335.
Telegraphische Einheiten 259.
Telephon 406 bis 415. 589.
Telephonverbindung 424. 429. 435.
Temperaturanzeiger 342. 343.
Terpentinöl 396. 438.
Tesla 387. 394. 563. 569.
Thermoelektricität 76 bis 81.
Thompson, Elihu 299.
Thonzellen 22. 23.
Tommasi 99.
Tonschwingungen 412.
Trägheit, elektr. 368.
Tragkraft 305.
Transformator 398. 399. 425.
Transmitter 423.
Tretrad-Elektromotor 463.
Tretschlüssel 332.
Triebkräfte 529.
Triebmaschine = Motor 501. 532.
Tripel 195.
Trockenelement 55 bis 57.
Trogbatterie 47. 48.
Trompete, elektr. 327.
Trouvé-Maschine 486.
Tudor-Accumulator 97.
Überdruck 18.
Übertragung, telephon. 411. 415.
Uhrregulator 456.
Uhren, elektr. 454 bis 458.
Uhrzeichenmelder 344 bis 346.
Umdrehungszahl 513. 523.
Umschalter für Sammler 108.
Unipolar 479.
Universal-Mikrophon 422.
Unterbrecher von Helmholtz 396. 397.
Unterdruck 18.
Untersalpetersäure 52.
Vaselin 32.
VA und Kalorie 252.
Verbindungsschrauben 32.
Verbindung = Schaltung.
Verbundmaschine = Doppelschlussmaschine.
Vergleichungen = Analogien.
Vergleichung v. Widerständen. 575.
Vergoldung 199. 200.
Verhältnisse der magn. Telephone 410.
Verkupferung 193. 194.
Vermessingung 200. 201.
Vernickelung 194 bis 196.
Verquicken 200.
Verschobene Wechselströme 567. 568.

Versilberung 169 bis 199.
Vertikalgalvanometer 139.140.448.
Verwendbarkeit der Elemente 64.
Vielpolmaschine 551. 552.
Vierpolmaschine 552. 553.
Volkmar 99.
Volt 21. 484. 529.
Volta 4.
Voltameter 114 bis 119.
Volt-Ampère=Watt 529. 553. 608.
Voltmeter 114. 166 bis 178.
Volta-Säule 4.
Vorbereitung für Galvanostegie 192.
Wachsdraht 285.
Wahl der Elemente 64. 65. 351.
Wagener 319. 477.
Wagner's Hammer 369. 377.
Walzenrheostat 275.
Wardworth 378.
Wärmeeinheit = Kalorie 461. 608.
Wärmeentwicklung 385.
Wärmeerscheinungen 260 bis 266. 383.
Warnung 203.
Wasserglas 23.
Wasserlauf 16
Wasserstandsanzeiger 358.
Wasserstoff = Hydrogen 11. 390. 394.
Wasservoltameter 115.
Wasserzersetzung 11.
Watt 299.
Wattstunde 105.
Weber, W. 144. 458.
Weber, H. F. 220.
Wechselströme 136. 299. 387. 393. 398. 407. 440. 484. 488. 489. 557 bis 561. 564. 566. 567. 589.
Weiches Blei 100.
Welle 525.
Wesen der Elektromotoren 459.
Wesentlicher Widerstand 18.
Werdermann-Lampe 238. 239.
Wheatstone 458. 581.
Wickelstelle 353.
Wickelungsrichtung 293.
Widerstand 18. 256 bis 258.
" des Ankers 516.
" eines Elementes 61. 62.
" magnetischer 288. 289.
" des menschl. Körpers 257.
Widerstand des Lichtbogens 237
" specifischer 251.
Widerstandseinheit 21. 280. 607.
Widerstandskasten 278 bis 280.
Widerstandsmessungen 162 bis 165. 578 bis 592.
Widerstandsspulen 277.
Wickelungsmaschine 291.
Wickelungsraum 294. 510. 537.
Wirkungen, chemische 91. 396.
" des galv. Stromes 90.
" induzierende 387.
" mechanische 384.
" physiologische 3. 386.
" Wärme- 385.
Wilde 569.
Wirkungsweise des Mikrophons. 422.
Wismut 31.
Wohlfeile Zelle 93.
Wohnungsanlagen 231 bis 233.
Wolker-Element 55.
Wollaston-Element 4.
Würgstelle 353.

Zahl der Elemente beim Telegraphieren 448.
Zahn 3.
Zahnanker 520.
Zamboni 55.
Zellenschalter 112.
Zeigertelegraph 451. 454.
Zeigerwerk, elektr. 451. 452.
Zink 9. 10. 184.
Zinkoxyd 56.
„ sulfat = -vitriol 67.
„ verbrauch 67.
„ voltameter 123.
Zinn 120. 184.
Zweck des Induktoriums 343.
„ „ Mikrophons 416.
„ der Sammler 90.
„ „ Rheostaten 271.
Zugkraft 413.
Zugschlüssel 331.
Zündungen 216.
Zunge 3.

Berichtigungen.

Seite	11	Zeile	6	von	unten	lies	Gasbläschen.	
„	23	„	15	„	oben	„	Gazeüberzug.	
„	64	„	8	„	unten	„	Depolarisation.	
„	69	„	13	„	„	„	1,5 V.	
„	69	„	1	„	„	„	$R_i + R_a$.	
„	110	„	9	„	„	„	Einfüllen.	
„	111	„	1	„	oben	„	Spannungen.	
„	123	„	3	„	unten	„	Romagnosi.	
„	302	„	7	„	oben	„	𝔅 μ. 𝔖.	
„	306	„	2	„	unten	„	$\mu = 823$.	
„	352	„	7	„	oben	„	$J = \frac{1,6}{1,2 + 0,97}$.	
„	363	„	15	„	„	„	drei.	
„	491	„	11	„	unten	„	ist an das Joch.	
„	501	„	10	„	„	„	G_m.	
„	516	„	3	„	oben	„	3,3.	
„	516	„	5	„	„	„	20 (ohne m).	
„	550	„	4	„	unten	„	Fig. 315_n.	
„	591	„	17	„	oben	„	C + D.	
„	608	„	10	„	„	„	Ein Farad.	
„	608	„	3	„	„	„	γ lamda.	

Kapitel I.

Quellen der Elektricität: Galvanische Säulen oder Elemente.

Galvani's Versuch.

In seiner Schrift vom Jahr 1791: „de viribus electricitatis de motu musculari commentarius“ teilt Galvani (1737—1798) folgenden Versuch mit: „Wird ein Frosch mit einem Schenkel so in die Höhe gehalten, dass der Haken im Rückenmark irgend eine silberne Scheibe berührt, der andere aber frei auf die nämliche Scheibe fällt (Fig. 1), so geschieht es, dass, sowie der Schenkel die silberne Fläche berührt, so ziehen sich die Muskeln zusammen, daher steigt der Schenkel u. wird in die Höhe gezogen, lässt aber sogleich nach und fällt wieder zurück, steigt aber aus eben derselben Ursache sogleich, wie er die Scheibe wieder berührt, in die Höhe, und so fährt er wechselweise fort

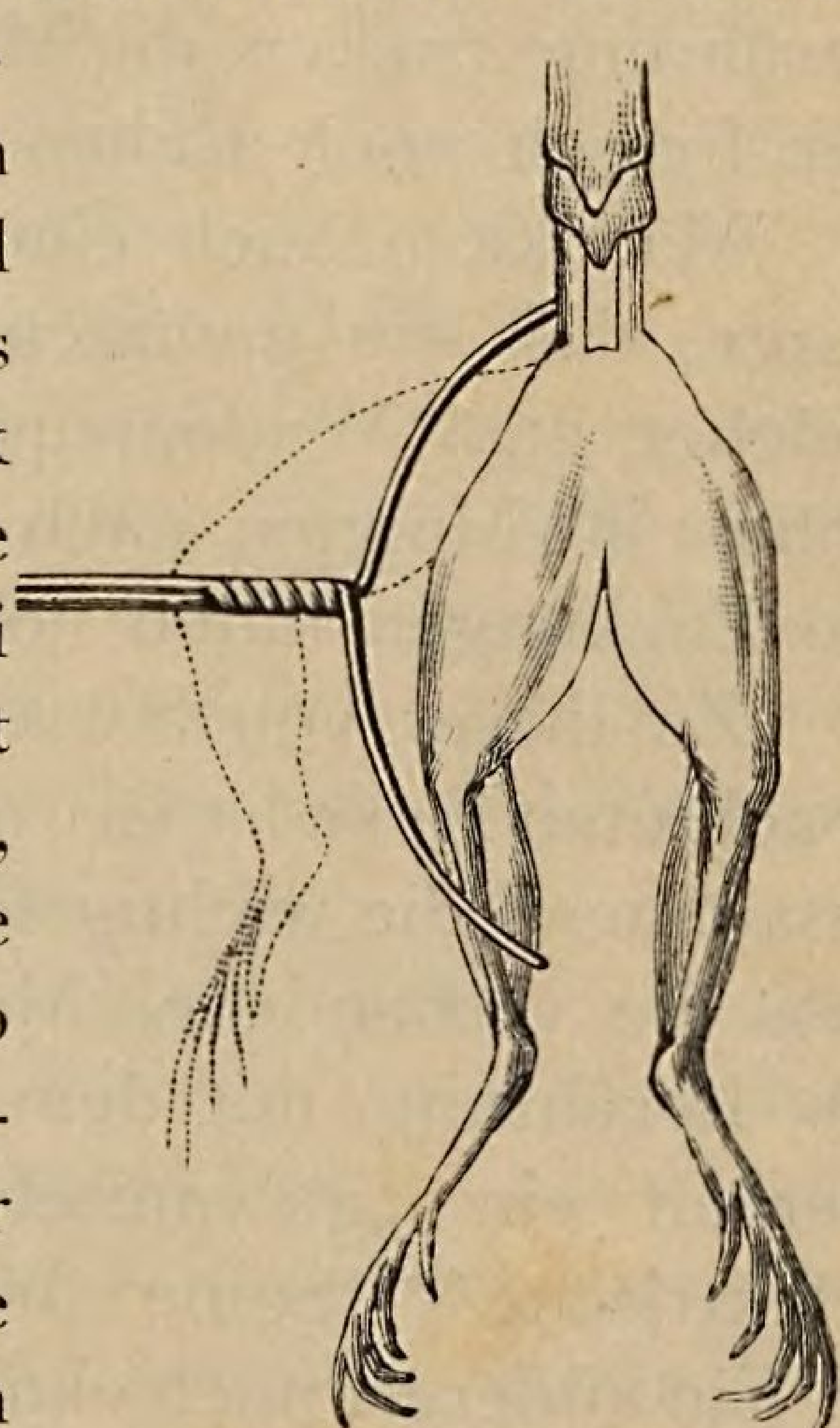


Fig. 1.

zu steigen und zu fallen und gleicht zu nicht geringer Verwunderung und Vergnügen des Naturforschers einem elektrischen Pendel.“ Galvani sieht den ganzen Muskel für eine Menge Leydner Flaschen an.

Will man diesen Versuch wiederholen, so tötet man einen Frosch, häutet ihn rasch, durchschneidet ihn mit einer grossen Schere quer in der Mitte, legt die beiden Endennerven bloss, welche wie zwei dicke weisse Fäden erscheinen, und berührt diese und die Muskeln mit einem Metallstab, der aus einem Kupfer- und einem Zinkstab besteht, die an dem einen Ende übereinander geschlungen oder verlötet sind. Bei der Berührung zucken die Muskeln zusammen, wie wenn der Frosch noch Leben hätte.

Man kann auch einen Unterschenkel so präparieren, dass ein genügend grosses Stück des Nerven, welcher zum Wadenmuskel führt, daran hängt. — Schon 30 Minuten nach dem Tode des Tieres sind die Zuckungen kaum noch merkbar.

Zu dieser von Swammerdam schon 1678 beobachteten Erscheinung wirken mehrere Ursachen zusammen; die wichtigste davon ist nach Volta die, dass die verbundenen Metalle, Kupfer und Zink, bei der Berührung mit dem feuchten Fleische und den Nerven ein „galvanisches Element“ *) oder eine „elektrische**) Säule“ bilden.

Ein anderer, noch einfacherer physiologischer

*) elementum = Grundstoff, Anfangsgründe.

**) elektrisch von elektron = Bernstein, weil an diesem Harz zuerst ähnliche Erscheinungen beobachtet wurden. Das Wort „Elektricität“ wird erstmals gebraucht von Robert Boyle 1675.

(d. h. auf Muskeln und Nerven wirkender) Versuch ist der folgende: man legt unter die Zunge ein Stück Silber (den Stiel eines Silberlöffels) oder einen Streifen Kupfer und auf die Zunge ein Zink- oder Eisenblech; sobald man die Metalle ausserhalb des Mundes in Verbindung bringt, fühlt man einen „Strom" auf der Zunge und zugleich einen zusammenziehenden Geschmack, der von der Zersetzung des Speichels und der Auflösung des Zinks herrührt. Wechselt man die Lage der Metalle, so wird der Geschmack säuerlich.

Wer einen plombierten Zahn hat, weiss wohl, dass, wenn er diesen mit Kupfer oder einem anderen Metall berührt, er im Augenblicke der Berührung einen heftigen Schmerz empfindet. Sulzer 1760.

Legt man einen mit Wasser benetzten Zinkstreifen auf das obere Augenlid, hält einen Kupferstreifen im Mund und verbindet beide Streifen, so nimmt man bei jeder Berührung der Metalle einen Lichtschimmer wahr. Man kann auch beide Streifen je zwischen Kinnbacken und Wangen klemmen und sie ausserhalb zur Berührung bringen. Bei jeder Berührung der Metalle nimmt man bei geschlossenen Augen einen schwachen Blitz wahr.

Man lege auf ein Zinkblech ein kleineres Kupferblech und auf dieses einen Blutegel oder eine Gartenschnecke; diese suchen fortzukriechen, fahren aber jedesmal zurück, sobald sie die Zinkplatte berühren.

Alle diese Erscheinungen beruhen darauf, dass zwei verschiedene Metalle in Berührung (Kontakt) mit Wasser einen „galvanischen" od. „elektrischen Strom" erzeugen, der in den angegebenen Versuchen freilich so schwach ist, dass man ihn nicht verwerten kann. Alle

älteren Säulen, und man darf wohl sagen, alle galvanischen Elemente gehen von diesem Prinzip aus.

Der geschichtlichen Erinnerung wegen nennen wir kurz die

Säule von Volta. 1800.*)

(Fig. 2.) Sie besteht aus quadratischen oder kreisförmigen Scheiben von etwa 10 cm Durchmesser aus Kupfer und Zink, die so aufeinander geschichtet werden, dass je ein Plattenpaar durch mit Kochsalzwasser oder mit verdünnter Schwefelsäure getränkte Tuchlappen oder Pappstücke vom andern Paar getrennt ist. Die Anordnung ist also diese: Zink, Kupfer, Lappen; Zink, Kupfer, Lappen u. s. w. Von dieser Aufeinanderschichtung kommt die Benennung „Säule". Die gepressten Lappen triefen aber ab und so geht viel Elektricität verloren. Man baute früher diese Säulen aus Silbermünzen und Zinkblechen auf.

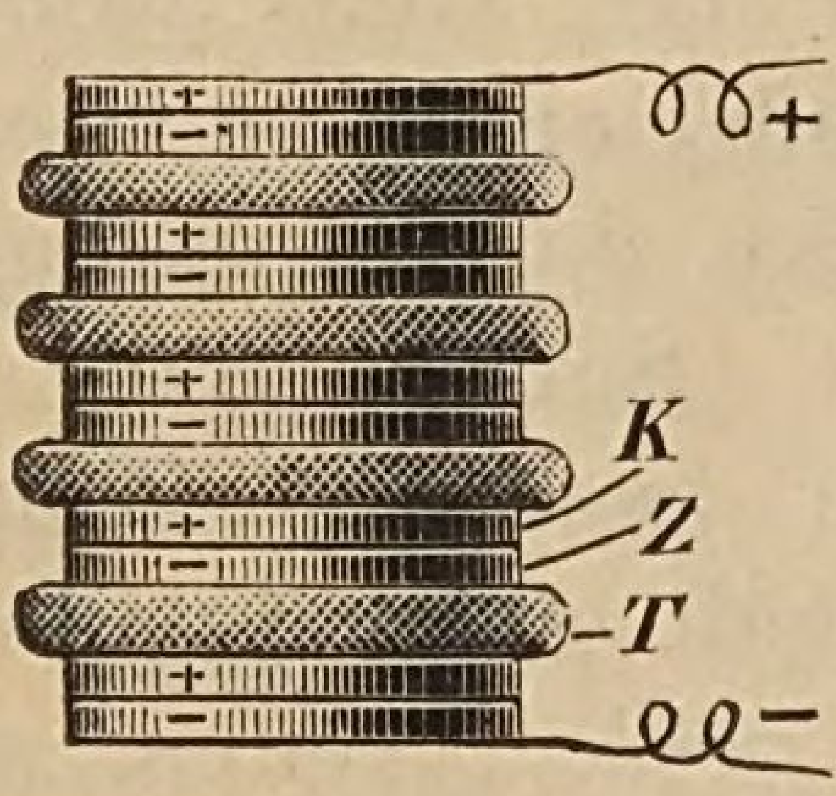


Fig. 2.

Eine verbesserte und hie und da noch gebräuchliche Abänderung dieser Säule ist das

Element von Wollaston. 1815.

In demselben ist die Zinkplatte von etwa 8 cm Breite

*) Graf Allessandro Volta ist 1745 zu Como geboren; war von 1779 bis 1804 Professor der Physik in Pavia und starb 1827 zu Como. Er erfand noch das Elektrophor, den Kondensator, die elektrische Pistole und die elektrische Lampe.

und 15 cm Höhe auf beiden Seiten von einem umgebogenen Kupferblech umgeben. (Fig. 3.) Die Berührung der Metalle wird durch zwischengelegte Hölzchen ($\frac{1}{2}$ bis 1 cm dick) verhindert und das ganze Element durch gewichste oder paraffinierte Schnüre zusammengehalten. Es dient zu kurz dauernden Versuchen. Mit ähnlichen 2000 Trogelementen hat Davy 1808 seine berühmten Versuche über den Voltabogen angestellt.

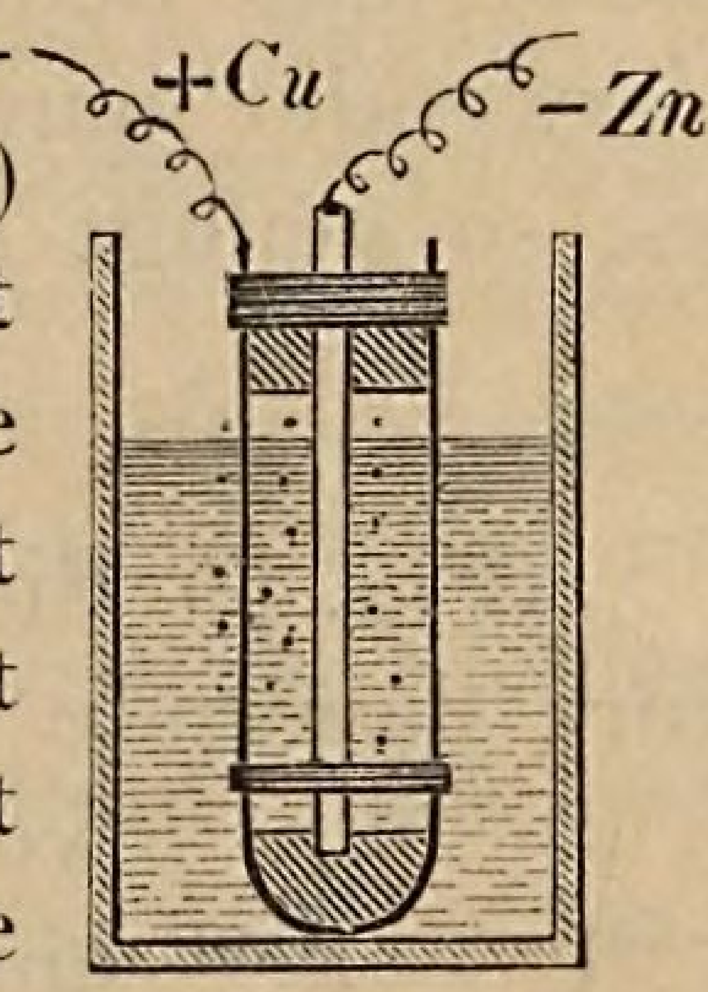


Fig. 3.

Pulvermacher'sche Kette. 1851.

Elektrische Spannungen lassen sich sehr schnell mit der Pulvermacher'schen Kette erlangen. Um einzelne Holzstäbchen sind je zwei Drähte, ein vergoldeter Kupferdraht und ein etwas dickerer Zinkdraht neben einander gewickelt, so dass sie sich nirgends berühren. Der Kupferdraht endet auf der einen, der Zinkdraht auf der andern Seite in Ringen, in welche der ungleichnamige Draht des zweiten Stäbchens mit seinen Ringen einhakt. 60 bis 120 solcher Stäbchen sind zusammengekettet und die Enden der Drähte des ersten und letzten Elementes sind an Metallstäben befestigt, welche die Haken K und Z tragen. Die Kette wird kurze Zeit in gewöhnlichen Essig getaucht und dann mittels der Haken K und Z an horizontalen Glasstäben aufgehängt. Die Holzstäbchen saugen Säure genug ein, um als Leiter zwischen den Drähten zu dienen. Bei Ver-

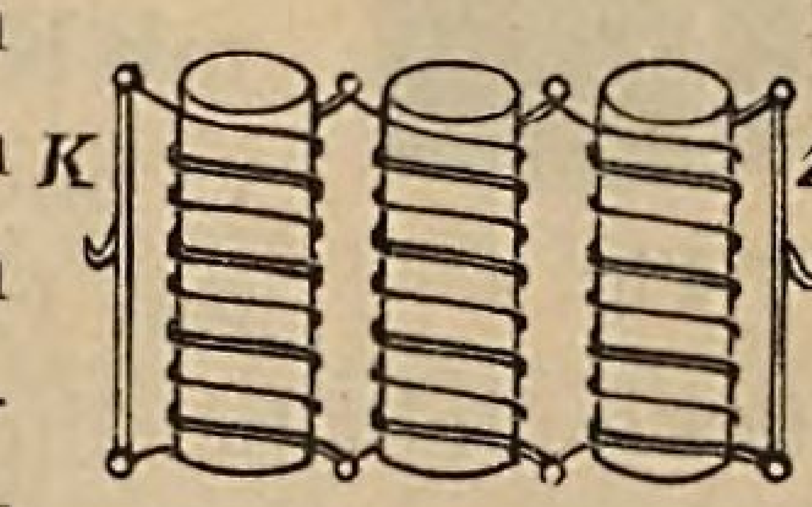


Fig. 3a.

bindung eines Poles mit einem Elektroskop (Fig. 11) erhält man deutliche Ausschläge der Goldblättchen. Verwendet man Magnesiumdraht statt des Zinkdrahtes, so genügt schon Benetzung mit reinem Wasser.

Koks-Element.

(Fig. 4.) Ein einfaches, leicht anzufertigendes, für kurz dauernde Versuche ziemlich starkes und dabei wohlfeiles Element ist das folgende. In ein Literglas oder Porzellangefäss stellt man eine Spirale aus starkem Kupferdraht und schiebt über dessen aufsteigenden Teil eine dünne Glasröhre oder enge Gummiröhre, wofern er nicht mit Guttapercha umgeben und damit „isoliert“ *) ist. Dann füllt man das Gefäss bis $\frac{1}{4}$ mit Koksstückchen auf, biegt einen Zinkcylinder, hängt ihn mittels 3 Haken so am Gefässrande auf, dass er die Koksstücke nicht berührt und füllt endlich mit einer Kochsalzlösung oder mit verdünnter Schwefelsäure (20 Raumteile Wasser und 1 Teil Säure) auf oder noch besser mit einer Mischung, die zusammengesetzt ist aus 100 g doppeltchromsaurem Natron (einem gelben, zerfliesslichen Salze), 50 g Schwefelsäure und 1000 g (1 l) Wasser. Statt des doppeltchromsauren Natrons kann man zerstossenes doppeltchromsaures Kali**) verwenden.

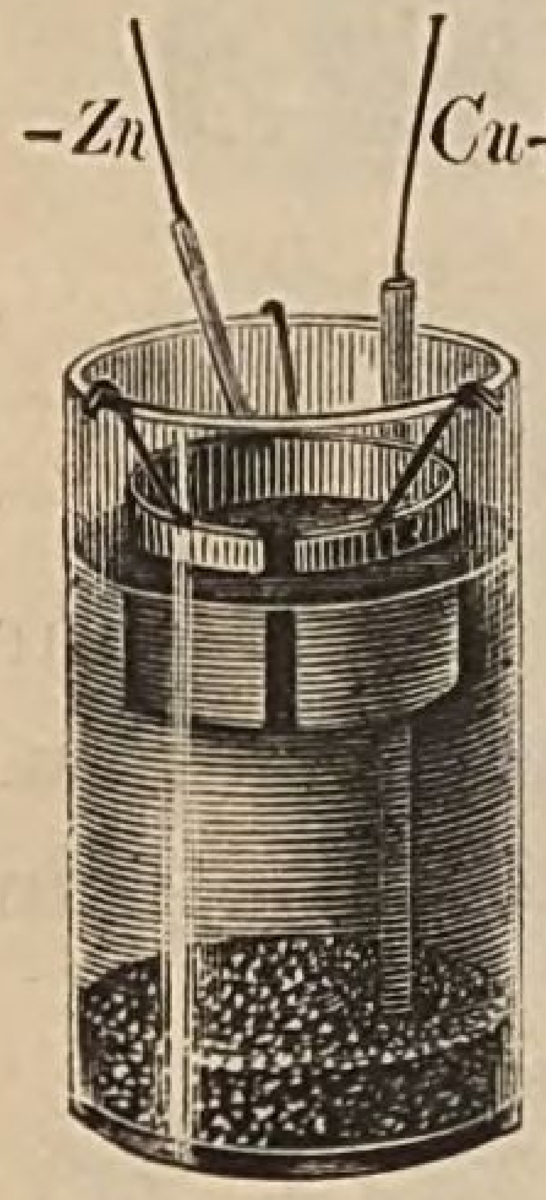


Fig. 4.

An den Zinkcylinder wird ein Kupferdraht gelötet, indem man am wohl blankgeschabten Zink-

*) Ital. isola = Insel; isolieren = absondern.

**) Beide Salze sind aus jeder Apotheke zu beziehen.

rande ein Loch von der Dicke des Drahtes bohrt, diesen umschleift, etwas Lötwasser (eine Auflösung von Zink in Salzsäure, Zink im Ueberschuss) u. Zinn an die Stelle bringt und mit der Weingeistflamme erwärmt.

Werden Kupfer und Zink, die Elektroden (ὁδός, hodos = Weg) eines Elementes, durch einen Kupferdraht verbunden, so ist das Element geschlossen, unverbunden ist es offen. Da das Koks-Element „offen" Zink verzehrt, so hat man dieses nach dem Gebrauche auszuheben.

Die Lösungen im Elemente, die zersetzt werden, heissen Elektrolyten (lysis-Trennnug). Der Vorgang der Trennung chemischer Verbindungen mit Hilfe eines elektrischen Stromes oder einer elektrischen Entladung heisst Elektrolyse.

Gefässe für Elemente.

Ausser Gläsern und Porzellangefässen kann man für dieses und für andere Elemente Blumentöpfe gebrauchen, die man dadurch wasser- und säuredicht macht, dass man sie mit Fett oder Paraffin tränkt und diese durch langsame Erwärmung eindringen lässt. Auch aus starker Pappe, die man in der gewünschten Form gut zusammenleimt und völlig mit Paraffin sättigt, lassen sich sehr wohlfeile Gefässe für Elemente herstellen.

Papier ist jetzt Mode: verfertigt man doch daraus Möbel, Flaschen, Räder, sogar Häuser; warum nicht auch Gefässe für Elemente! Der hierzu nötige Kitt wird aus einer wässrigen Lösung von doppeltchromsaurem Kali und starkem Leim oder Stärkemehl

zusammengesetzt und vor dem Lichte geschützt aufbewahrt, weil er im Lichte unlöslich wird.

Ueber die Form legt man gutes Papier, überzieht dieses mit dem angegebenen Leim, legt wieder Papier dicht darauf und so fort, bis man die gewünschte Dicke hat, lässt in der Sonne trocknen und durchtränkt das Gefäss vollständig mit siedendem Paraffin oder mit Marineleim. Diese Gefässe sind für Säuren und Kupfersulfatlösungen undurchdringlich. Marineleim: löse Kautschukstücke in 12 Teilen Benzin, setze 20 Teile gepulverten Schellack hinzu; erwärme sehr vorsichtig und trage mit dem Pinsel auf.

Nachweis des Stromes.

(Figur 5.) Wir haben oben angegeben, wie man das Vorhandensein eines galvanischen Stromes mit dem Geschmacks- und Gesichtsorgan nachweisen kann; ein bequemeres Mittel beruht auf der „Fernwirkung“ des Stromes. Hält man nach Oersted 1820 den „Schliessungs-Draht“ eines Elementes über eine auf einer Spitze schwebende oder unter eine an einem ungedrehten Seidenfaden aufgehängte Magnetnadel, so weicht diese von ihrer Nord-Süd-Richtung ab. Man heisst einen solchen Apparat ein Galvanoskop (scopein beschauen) oder, wenn die Nadel über einer Kreisteilung schwebt, ein Galvanometer. Ist das Element geschlossen und hält man es über eine feine Magnet-

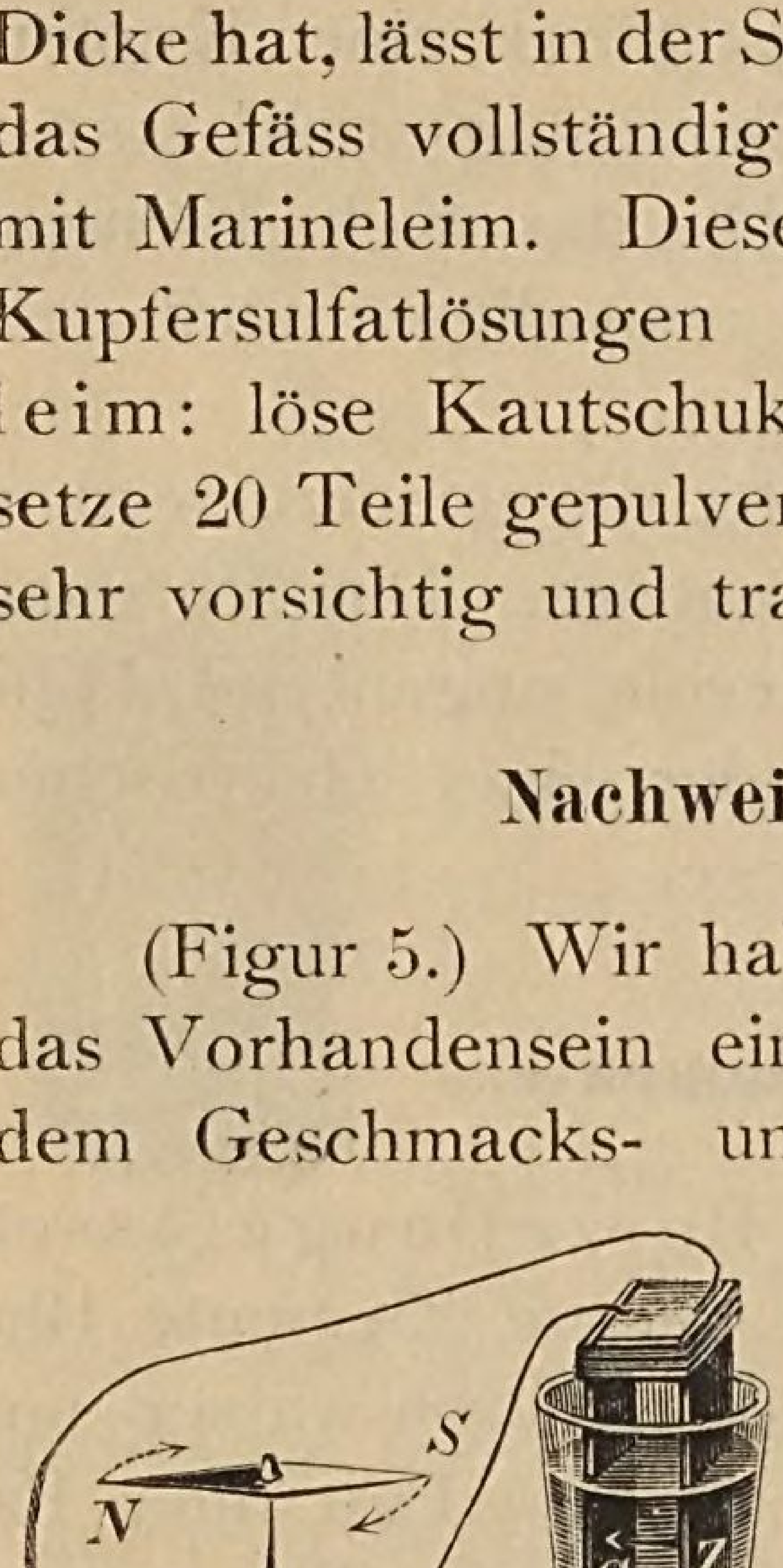


Fig. 5.

nadel, so zeigt deren Abweichung an, dass auch im Innern des Elementes ein Strom fliesst, und zwar vom Zink zum Kupfer. Man macht diesen Versuch am besten mit einem Elemente, das man aus einer Glasröhre (Lampencylinder) und zwei durch Korke hindurch verschiebbaren Platten (Kupfer, Zink) und angesäuertem Wasser vorübergehend zusammenstellt. Fig. 6.

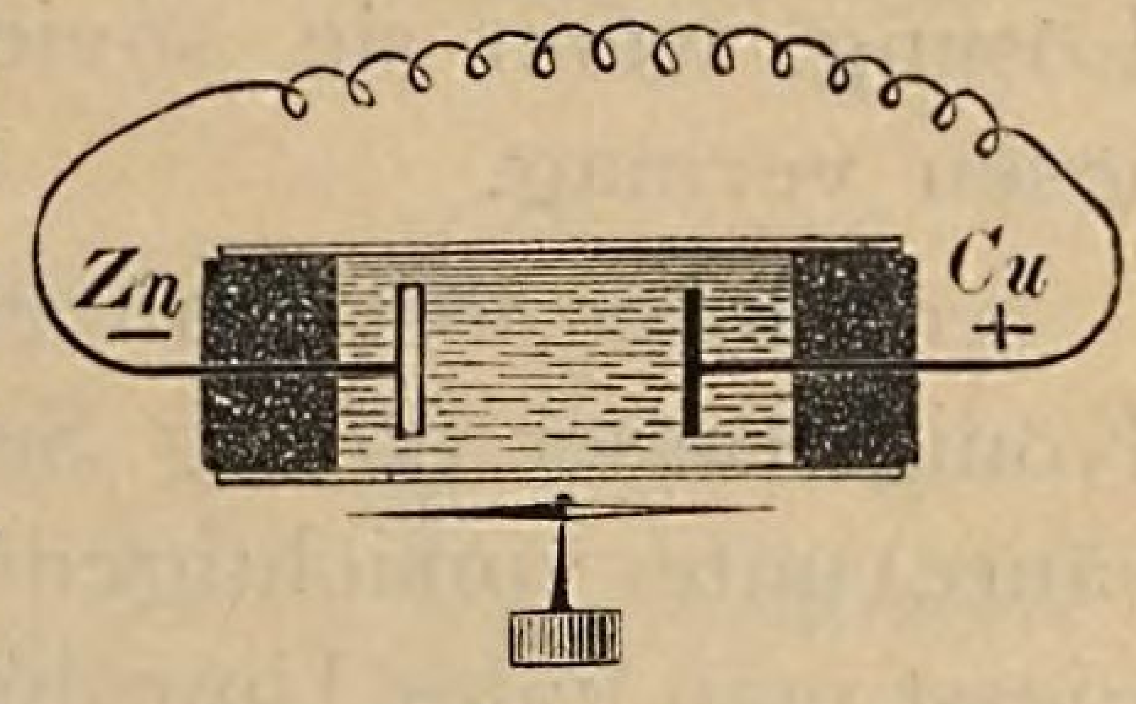


Fig. 6.

Amalgamieren des Zinks. Sturgeon 1826.

Man kann zwar zu galvanischen Elementen alle Arten von Zink ohne weitere Vorbereitung verwenden; allein der Strom wird konstanter, d. h. gleichmässiger stark, wenn das Zink chemisch rein ist. Solches Zink ist indes zu teuer, man begnügt sich darum damit, es mit Quecksilber zu überziehen oder zu amalgamieren.

a. Zu diesem Zweck taucht man es in Salzsäure oder Schwefelsäure, die mit Wasser verdünnt sind (dekapiert es); ist die Oberfläche ganz rein, so stellt man das Zink in einen Teller, der etwas Quecksilber und verdünnte Schwefelsäure enthält, reibt das Quecksilber mittels einer harten Bürste (Zahnbürste) oder eines Lappens, der um einen Holzstab gebunden ist, so lange ein, bis Silberglanz erfolgt und lässt das überschüssige Quecksilber abtropfen.

b. Oder taucht man das entfettete und gebeizte Zink in eine konzentrierte Lösung von schwefelsaurem

Quecksilber(Quecksilbersulfat). „Konzentriert“ ist eine Lösung, wenn sie soviel Salz enthält, als sie aufzulösen vermag.

c. Oder löst man 200 g Quecksilber in 1000 g Königswasser (250 g Salpetersäure und 750 g Salzsäure) unter vorsichtigem Erhitzen; nach der Auflösung giesst man unter Umrühren 1000 g Salzsäure zu. Die zu amalgamierenden Zinkstäbe oder Platten werden einige Sekunden lang in diese Flüssigkeit getaucht und abgewaschen.

Das Quecksilber nimmt an den Wirkungen des Zinks keinen Anteil, darum sammelt es sich auf dem Boden des Gefässes in Kügelchen und lässt sich wieder gewinnen, ist aber nur zum Amalgamieren noch brauchbar.

Stromschaltungen.

Hat man mehrere gleichartige Elemente, so verbindet man ihre Elektroden gewöhnlich so, dass man einen Kupferdraht an den Kupfer- oder positiven

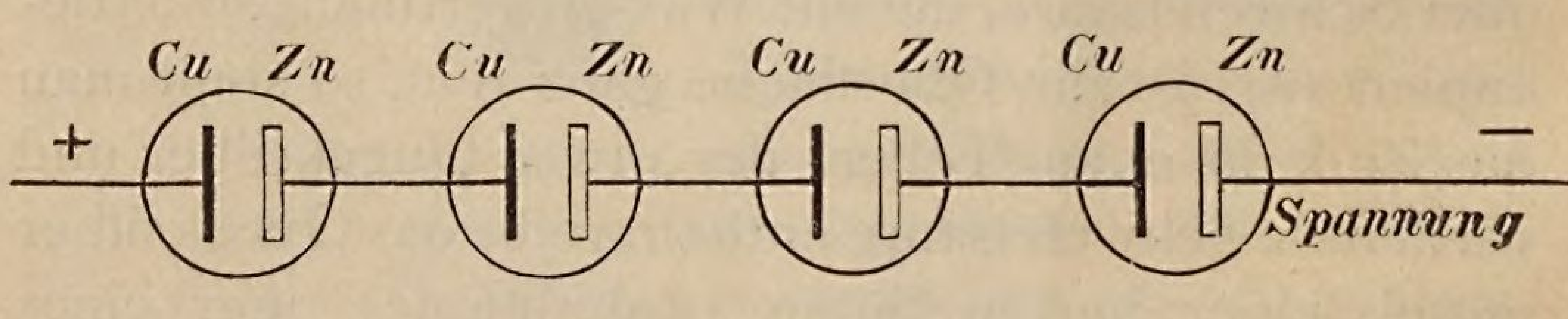


Fig. 7.

Pol des einen und an den Zink- oder negativen Pol des nächsten klemmt und so fort; man heisst dies die Verbindung auf Spannung (Fig. 7). Oder man verbindet alle positiven Pole unter sich und ebenso

alle negativen Pole; dies ist die Verbindung auf Menge oder Quantität (Fig. 8).

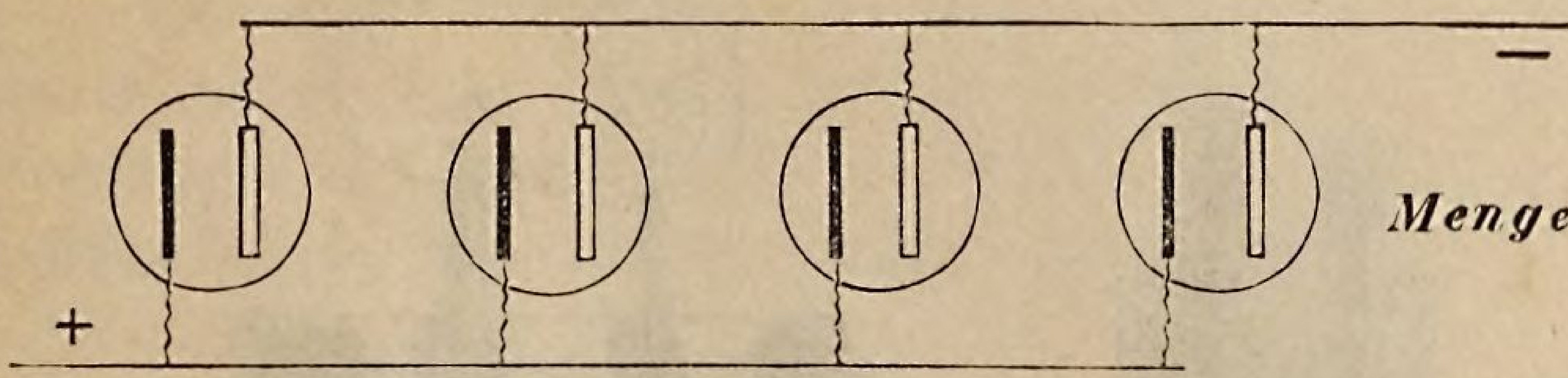


Fig. 8.

Anwendung auf Wasserzersetzung, Ritter 1799, Carlisle und Nicholson 1801, H. Davy 1802.

(Fig. 9.) Mit 3 auf Spannung oder hintereinander verbundenen Elementen können wir Wasser in seine zwei chemischen Elemente zerlegen. In zwei Glasröhren von etwa 1 cm Weite und 15 bis 20 cm Länge bringen wir mittels gut schliessender Korke dünne Bleistreifen oder Platindrähte, füllen die Röhren mit Wasser, das mit Schwefelsäure angesäuert ist (etwa $\frac{1}{20}$ Säure) und stellen sie in ein Glasgefäss, das gleichfalls angesäuertes Wasser enthält. Verbinden wir nun die Enddrähte unserer drei Elemente mit den an die Bleistreifen angelöteten Kupferdrähten, so steigen in den Röhren alsbald zahlreiche Glasbläschen auf, und zwar immer so, dass auf 1 Raumteil Sauerstoff O (Oxygen) 2 Teile Wasserstoff H (Hydrogen) kommen. Man schreibt daher Wasser mit seiner chemischen Formel H_2 O. Die Mischung beider Gase heisst Knallgas, weil sie, angezündet, unter einem heftigen Knall

wieder Wasser liefert. Stromrichtung. Der positive Strom fliesst durch die Flüssigkeit nach der

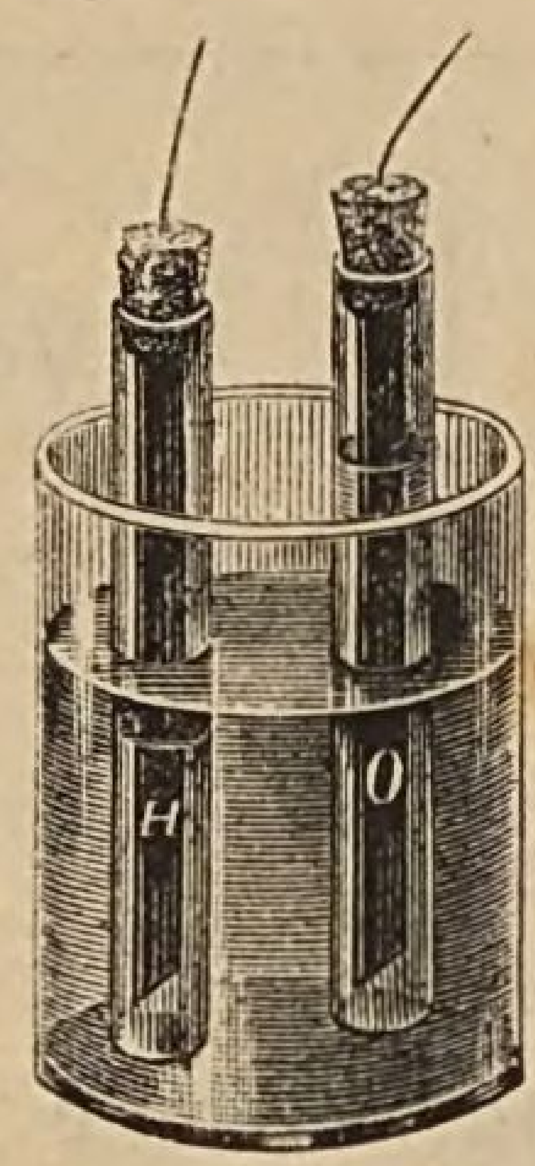


Fig. 9.

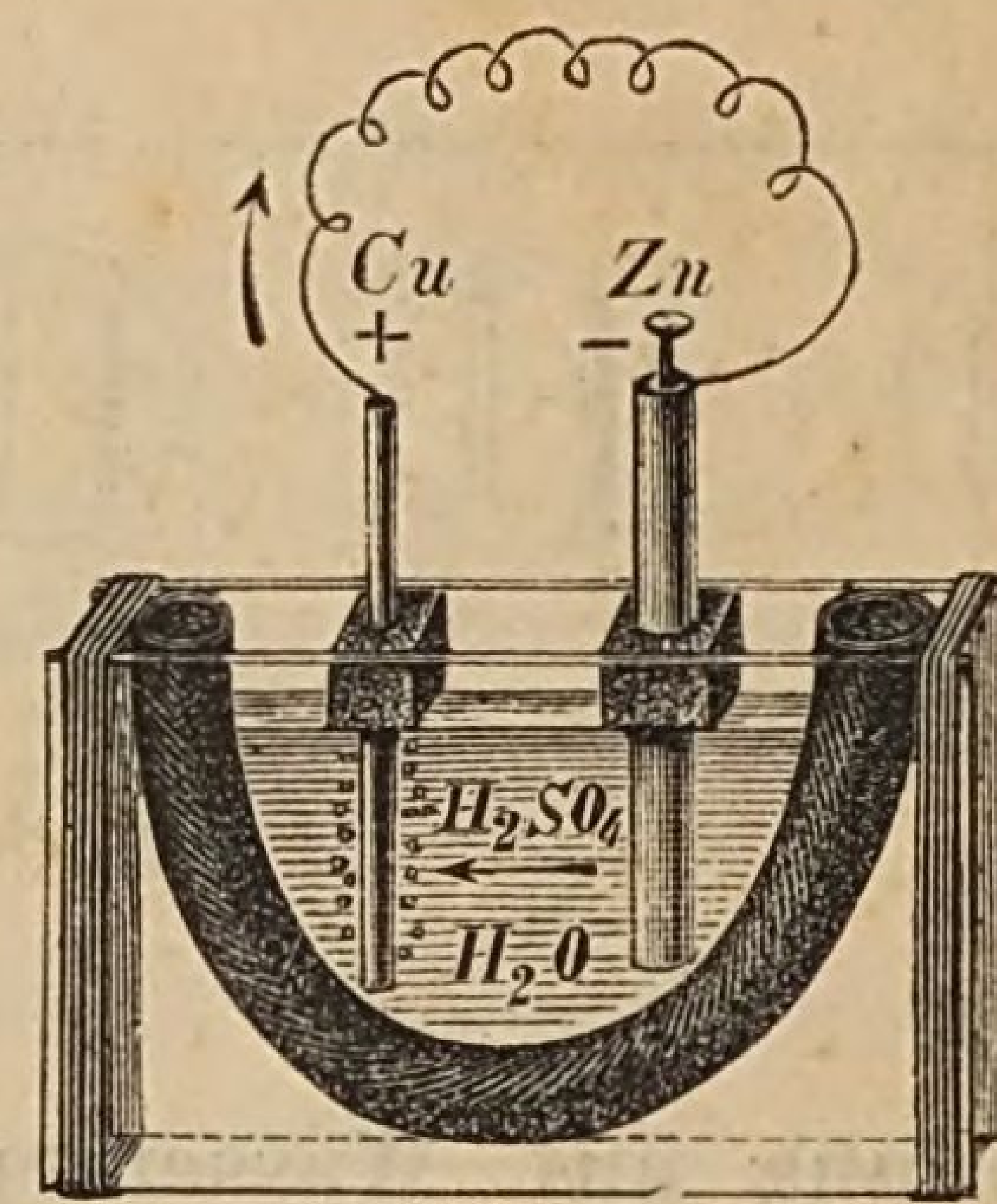


Fig. 10.

Platte, an welcher sich der Wasserstoff ansammelt, oder der Strom fliesst durch die Flüssigkeit zum Wasserstoff.

Chemische Vorgänge innerhalb eines Elementes.

a. Versuche. (Fig. 10.)

Die Zelle besteht aus 2 Glasscheiben, zwischen denen ein Stück Gummischlauch mittels Bindfaden eingeklemmt ist. Wird in das angesäuerte Wasser ein reiner Kupferstab mittels Kork eingeführt, so bemerkt man kein Anzeichen chemischer Thätigkeit. Bringt man dazu einen reinen oder amalgamierten Zinkstab hinein, so tritt noch keine chemische Thätigkeit ein. Schliesst man nun den Kreis durch einen Kupferdraht, so treten an dem Kupferstab zahlreiche Gasbläschen auf; sie bestehen aus Wasserstoffgas.

Lässt man den äusseren Schliessungskreis weg und berührt Zink und Kupfer innerhalb der Zelle, so treten gleichfalls Gasbläschen auf.

Dieselben Erscheinungen finden statt, wenn man statt des Kupfers Platin oder Kohle eintaucht. Verwendet man unreines Zink, so tritt auch an diesem ein lebhafter Strom von Gasblasen auf.

b. Erklärungen.

Alle Säuren sind aus zwei wesentlichen Teilen zusammengesetzt: aus einem stark elektronegativen Bestandteil, der ein einfacher Körper: Chlor, Jod, Brom oder ein zusammengesetzter Körper: NH_4 = Ammonium, $Cy = C_2N$ = Kohlenstickstoff = Cyan u. s. w. sein kann, und aus dem stark elektropositiven Körper Hydrogen. (Hydro = Wasser, gen = Erzeuger).

Die Konstitution der Säuren lässt sich somit auf folgende Weise darstellen: HCl = Chlorwasserstoff; HBr = Bromwasserstoff; H_2SO_4 = Schwefelsäure; HNO_3 = Salpetersäure.

Wenn nun Zink auf eine Säure wirkt, verdrängt es den Wasserstoff daraus und nimmt den elektronegativen Bestandteil auf; die Säure verliert dabei ihre eigentümliche Schärfe, sie wird neutralisiert. Ein Atom Zink vermag zwei Atome Wasserstoff zu ersetzen, so dass es zwei Aequivalente (gleichwertige Teile) in solchen Säuren ersetzt, die nur ein Atom Wasserstoff enthalten.

In allen Elementen, die Elektricität mittels Säuren

erzeugen, gehen also folgende chemische Prozesse vor sich:

$$2\,HCl + Zn = ZnCl + H_2\,;$$
$$H_2SO_4 + Zn = ZnSO_4 + H_2\,;$$

oder ganz allgemein, wenn wir den elektronegativen Bestandteil mit X bezeichnen:

$$H_2X + Zn = ZnX + H_2$$

Wir lernen aus diesen Betrachtungen, dass kein Element ohne Verzehrung von Zink Elektricität erzeugen kann. Im Gegenteil, je rascher ein *nützlicher* Verbrauch von Zink stattfindet, desto grösser werden die elektrischen Wirkungen sein. Wird dagegen Zink verzehrt, wenn das Element nicht benutzt wird, so ist das blosse Verschwendung. Aus diesem Grunde ist es nicht ratsam, gewöhnliches Zink zu *Batterien* (Verbindungen von Elementen) zu verwenden, in denen Säuren als Erregungsflüssigkeiten dienen; chemisch reines Zink widersteht zwar dem Angriff der Säuren, so lange das Element offen ist, ist aber, wie gesagt, zu teuer; das Amalgamieren verleiht indes dem Handelszink nahezu die Eigenschaften des reinen Zinks.

Chemische Vorgänge im Elemente und elektrischer Strom.

a. Versuche.

(Fig. 12.) Stellen wir ein Thermometer zwischen die Elektroden eines Kupfer-Zinkelementes, so zeigt es, wie auch das Gefühl einer an das Glasgefäss gelegten Hand nachweist, infolge der Auflösung des

Zinks eine bedeutende Wärme-Entwicklung an.

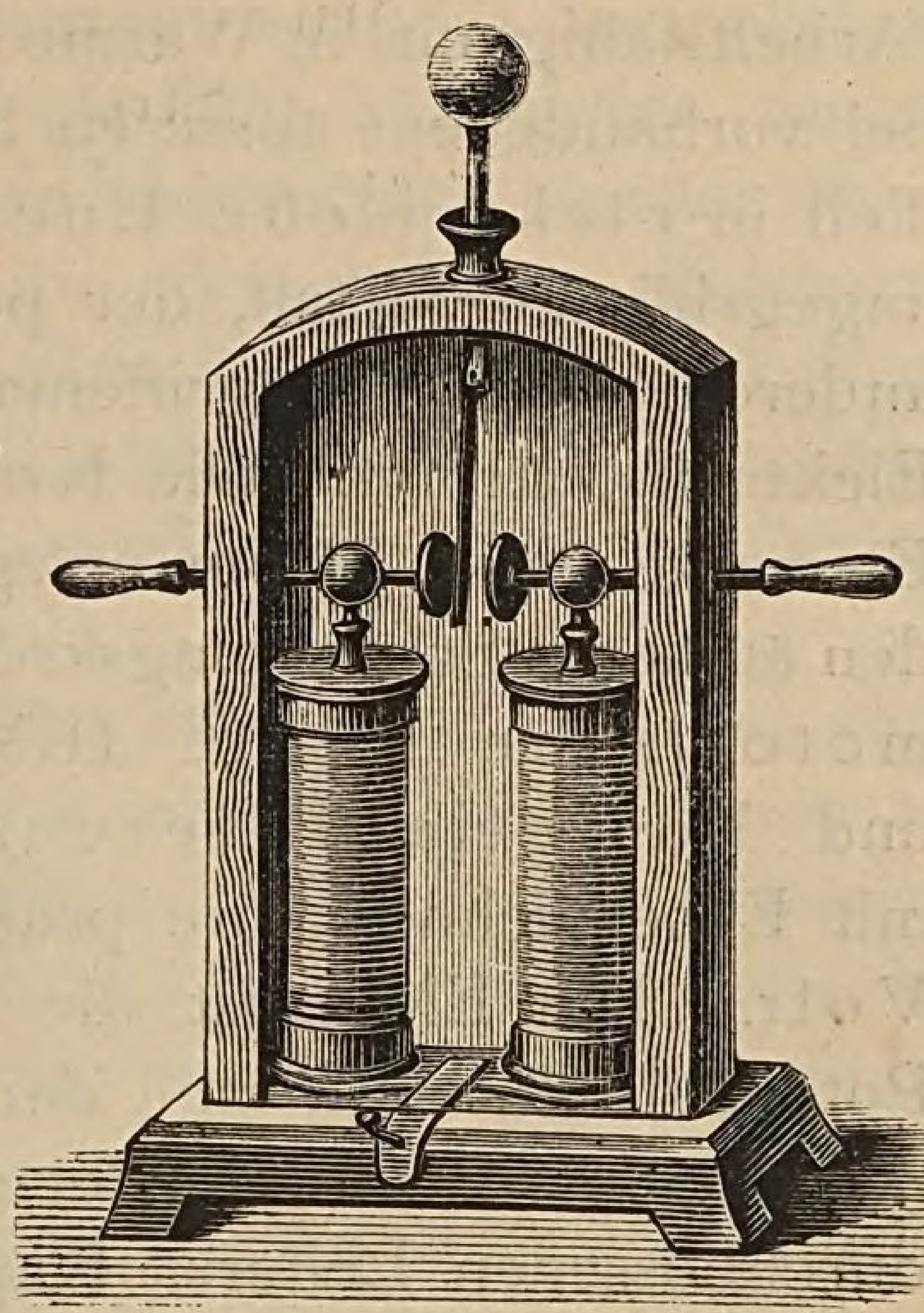


Fig. 11.

Legen wir den Leitungs-Draht der einen Elektrode an den Knopf des Elektroskops Fig. 11 (vergl. Ritter 1800, Behrens-Zamboni-Trockensäule 1815) und halten wir den Draht der andern in der feuchten Hand, d. h. leiten wir zur Erde ab, so wird das Goldblatt des Elektroskops zur einen oder der andern Scheibe abweichen und damit eine an den hervorragenden Elektroden vorhandene elektrische Spannung anzeigen.

Verbinden wir endlich die Elektroden-Drähte mit den Klemmen des Galvanoskops (Fig. 12), so weicht die Nadel stark von ihrer Nord-Süd-Richtung ab; aber das Thermometer deutet keine beträchtliche Wärme-Entwicklung mehr an.

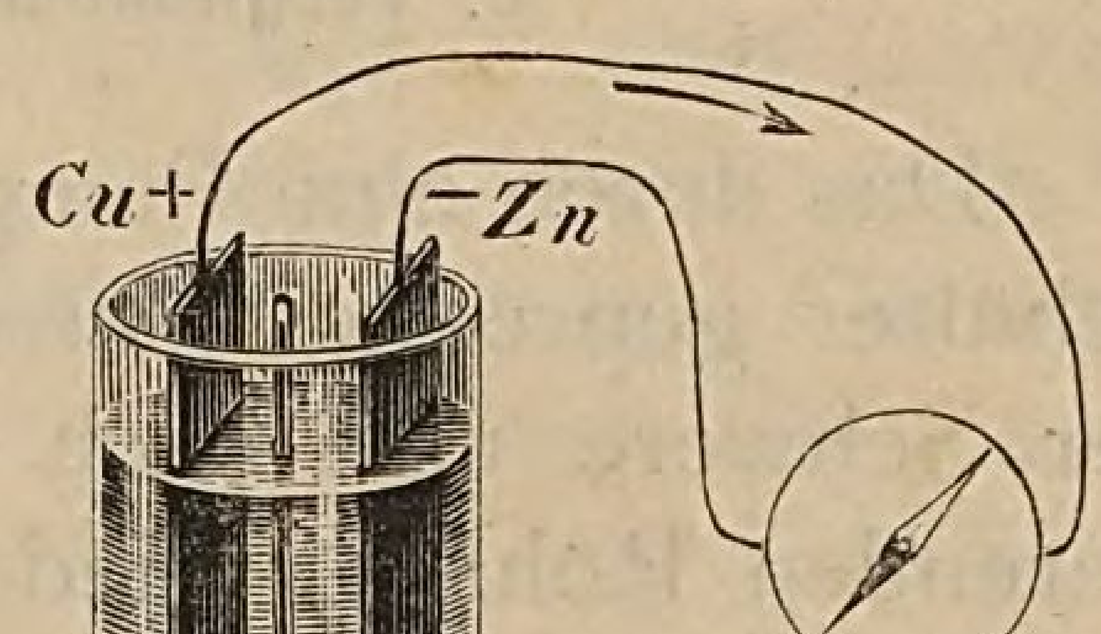


Fig. 12.

b. Folgerungen.

Solange kein äusserer Strom vorhanden ist, verwandelt sich die chemische Thätigkeit oder Energie

(Arbeitsfähigkeit) in Wärme oder thermische Energie; bei vorhandenem äusseren Stromkreis dagegen zum Teil in elektrische Energie, die zu dem nicht angegriffenen Metall, der positiven Elektrode, vom anderen, dem angegriffenen Metall, der negativen Elektrode, strömt. Die Kraft nun, welche in einem Elemente einen Strom erregt, und denselben durch den äusseren Schliessungskreis treibt, heisst elektromotorische Kraft (EMK), auch Spannung und Potentialdifferenz und wird gewöhnlich mit E bezeichnet; ihre praktische Einheit heisst ein Volt. Die EMK ist die Ursache der Spannung; Potentialdifferenz ist der Spannungsunterschied zwischen zwei verschiedenen Punkten eines stromdurchflossenen Leiters. Kap. VII.

Diese Ausdrücke, sowie auch die Bezeichnung „Strom“ selbst, enthalten eine Vergleichung der galvanischen Elektricität mit einem Wasserlauf.

c. Vergleichungen (Analogien).

Das durch eine Pumpe in einen höher gelegenen Behälter gepresste Wasser strebt beständig, infolge der Schwere und nach dem Gesetz der kommunizierenden Röhren, wieder auf sein früheres Niveau zurückzukehren (Wasserleitungen). Dieses Streben, das eine wirkliche aquamotorische oder wasserbewegende Kraft (potentielle oder mögliche Energie, Energie der Lage) darstellt, ist um so grösser, je höher das Wasser hinaufgedrückt worden ist und entspricht dem Begriff „elektromotorische Kraft“. Wenn man aber die Höhen verschiedener Wasser-

behälter mit einander vergleichen will, so muss man die Höhe einer Fläche als Null annehmen, von wo aus die Lage der andern abgemessen werden kann; wie man ja auch für die Wärme einen Nullpunkt aufgestellt hat, nämlich den des schmelzenden Eises. Für die Elektricität gilt als Nullfläche (Potential Null) die Erde, wie bei Wasserflächen von der Meeresfläche ausgegangen wird.

Man kann eine Elektricitätsquelle auch mit einer Druckpumpe vergleichen, welche Luft in einen allseitig geschlossenen Raum presst. Ein Gas, mit Hunderten von Atmosphären zusammengedrückt, besitzt eine ausserordentliche Spannung, ein sehr hohes Potential, eine aëromotorische Kraft oder einen Überdruck. Aus einem kleinen Behälter strömt solch zusammengepresstes Gas unter scharfem Zischen mit einem Stosse aus; das ist die gewöhnliche Entladung einer Leydner Flasche, ein einziger heftiger Knall, das ist alles. Man presse dagegen Luft mit mässiger Kraft in einen sehr grossen Behälter; sie wird aus einer kleinen Öffnung langsam, ohne Geräusch ausströmen; aber so, dass sie eine Arbeit verrichten kann. Solche Arbeit leistet die mit geringer Spannung, aber stetig fliessende galvanische Elektricität, indem sie sich als Licht, als Wärme, als Schall, als mechanische Bewegung und als chemische Kraft zeigt.

Wenn man anderseits die Luft aus dem Gefäss auspumpt, so ist gleichfalls Energie darin enthalten; denn beim Einströmen der Luft kann Arbeit geleistet werden. Bei der Luft kann man indessen den Unterdruck nur auf eine Atmosphäre unter den

gewöhnlichen Luftdruck bringen. Die elektrische Energie, die mit Überdruck hergestellt ist, heisst positive Ladung, diejenige für Unterdruck negative.

Beim Abfliessen des Wassers durch eine Röhre haben wir nicht allein dessen Fallhöhe in Betracht zu ziehen, sondern noch seine Stärke (Intensität) in der Zeiteinheit, sowie auch die Reibung oder den Widerstand, den die Rohrwände dem Durchgang des Wassers entgegensetzen. Ebenso erleidet der galvanische Strom in seinem Leitungsdraht und im Elemente selbst einen Widerstand. Die Stärke des Stromes wird darum um so grösser sein, je grösser seine EMK. und je geringer sein Widerstand ist. Den Zusammenhang dieser drei Grössen drückt das Ohm'sche Gesetz aus in der Formel $J = E : R$, d. h. die Stromstärke wächst mit der EMK und nimmt ab mit dem Widerstand. Der Nachweis dieses wichtigen Gesetzes folgt später. (I von Intensität, R von Résistance.)

Galvanische Polarisation.*) Schönbein 1839.

(Fig 13.) Unser einfaches, aus Kupfer, Zink und angesäuertem Wasser bestehendes Element zeigt starke Entwickelung von Wasserstoff und rasche Abnahme seiner Stromstärke. Der Wasserstoff schlägt sich zum Teil auf dem Kupfer nieder, und da er ein schlechter Elektricitätsleiter ist, erhöht er den Widerstand im Elemente oder den inneren, wesentlichen Widerstand, den die an der Zinkplatte erregte elektrische Energie bei ihrem Übergang zum Kupfer zu über-

*) Pol = Gegensatz; Drehpunkt.

winden hat, und da er zum andern elektropositiv ist, vermindert er die elektronegative Wirksamkeit des Kupfers. Er veranlasst somit eine elektromotorische Gegenkraft von 1,47 Volt Spannung. Verbinden wir nach der Zersetzung von Wasser die Zuleitungsdrähte unseres Wasserzersetzungs-Apparates (Fig. 9) mit dem Galvanoskop, so zeigt dieses durch seinen Nadelausschlag einen Strom an, der dem Batteriestrom entgegengesetzt verläuft und darum Polarisationsstrom genannt wird. Die galvanische Polarisation erklärt, warum nur eine fast unmerkliche Wasserzersetzung stattfindet, wenn man ein einzelnes Element in den Schliessungsbogen einschaltet. Vergl. Stromwender!

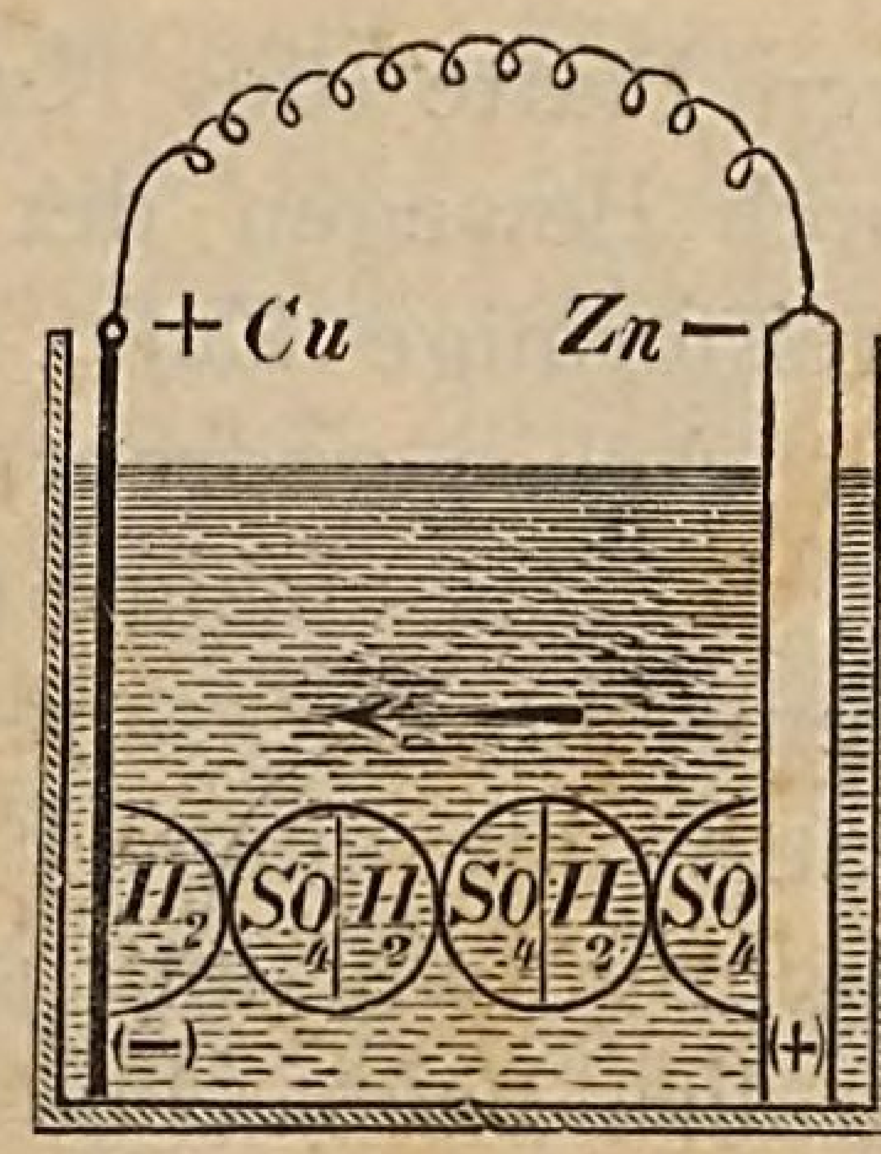


Fig. 13.

Gesetze und Beseitigung der Polarisation.

Die Polarisation wächst mit der Stärke des primären (ersten) Stromes, bei konstanter Stärke dieses Stromes mit der Verkleinerung der Elektroden (Kupfer- und Zinkplatten des Elementes), sie ist ferner abhängig von der Natur des Elektrolyts (der Flüssigkeit im Elemente), sie wird geringer bei Erhöhung der Temperatur der Zersetzungszelle.

Diese Polarisation hat man teils auf mechanische, teils auf chemische Weise zu beseitigen gesucht:

a. Durch Rauhmachen der Oberfläche der nega-

tiven Platte (des Kupfers), durch Bürsten derselben, durch Bewegen der Flüssigkeiten oder der Platten (kreisförmige Zink- und Kupferplatten werden um eine Achse gedreht).

b. Das einzige praktische Mittel aber ist die chemische Wirksamkeit. Umgiebt man die negative Platte mit einer Flüssigkeit, die den Wasserstoff begierig aufnimmt, so ist die Aufgabe gelöst. Zuerst ist dies beim Döbereiner-Daniell-Elemente erreicht worden.

Das Döbereiner-Daniell-Element 1836

ist das älteste konstante, d. h. einen gleichmässig starken Strom liefernde (Fig. 14). Es besteht aus einer Kupferplatte oder einem Kupfercylinder, der in ein mit einer Auflösung von Kupfersulfat (blauer Vitriol, schwefelsaures Kupfer) teilweise gefülltes Glas (Literglas) gestellt ist und aus einer Zinkplatte oder einem Zinkstab, der in eine Lösung von Zinksulfat (weisser Vitriol, schwefelsaures Zink) oder in verdünnte Schwefelsäure eintaucht; beide Lösungen sind durch eine poröse Scheidewand, eine Zelle aus gebranntem, nicht glasiertem Thon getrennt.

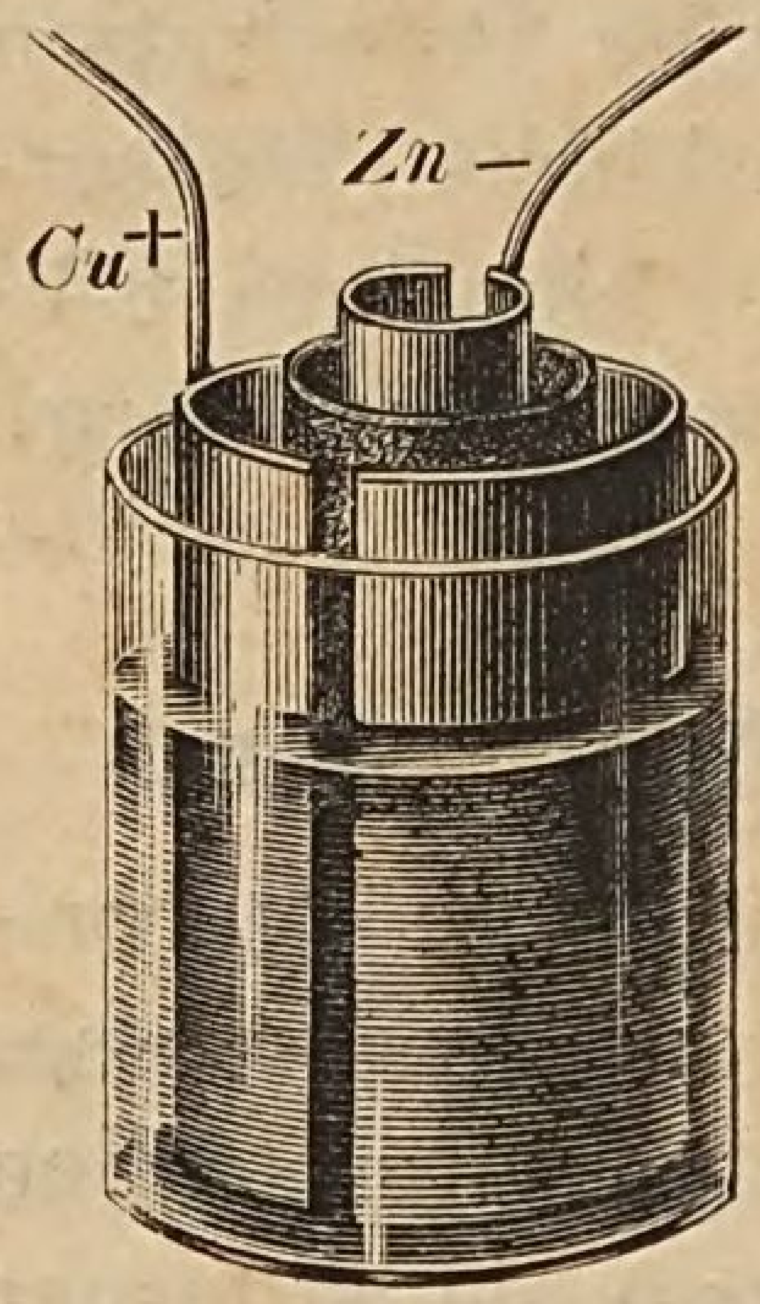


Fig. 14.

Man kann indes das Glas umgehen, einen Becher aus dünnem Kupferblech zusammenlöten und in diesen die Kupfersulfatlösung füllen.

Dieses Element hat den besonderen Wert, dass seine Stromspannung der praktischen Einheit

von 1 Volt (Volta) nahezu gleichkommt. Die praktische Einheit des Widerstandes ist 1 Ohm (Ω); das ist der Widerstand, den eine Quecksilbersäule von 1 mm² Querschnitt, 14,4521 g Masse und 106,3 cm Länge (in eine Glasröhre eingeschlossen) dem Durchgang des Stromes bei 0° Celsius entgegensetzt; etwa 48 m gewöhnlichen Kupferdrahtes von 1 mm Durchmesser leisten ebenfalls einen Widerstand von 1 Ω. Der Widerstand, den eine Quecksilbersäule von 1 mm² Querschnitt, aber von 100 cm Länge dem Strom entgegensetzt, ist eine Siemens-Einheit. Die Einheit der Stromstärke heisst 1 Ampère*), das ist die Elektricitätsmenge, die durch einen Widerstand von 1 Ω mit dem Spannungsunterschied von 1 V an seinen Enden hindurchfliesst.

Ampère-Stunde, -Minute, -Sekunde. Gleichwie man unter „Pferdekraftstunde“ die bei der Arbeitsstärke einer sogenannten Pferdekraft binnen einer Stunde geleistete Arbeit versteht, so bedeutet der Ausdruck „Ampère-Stunde“ eine Elektricitätsmenge, nämlich eben die von einem Strom = 1 Amp. innerhalb einer Stunde gelieferte Menge. Da die in 1 Sekunde von 1 Amp. gelieferte Menge 1 Coulomb heisst, so ist 1 Ampère-Stunde = 60·60 = 3600 Coulomb. In ähnlicher Weise bedeuten die Ausdrücke „Ampère-Minute“ und „Ampère-Sekunde“ beziehungsweise die Elektricitätsmengen 60 Coulomb und 1 Coulomb. Eine Stromstärke ist also eine auf die Zeiteinheit (1 Sekunde) bezogene Elektricitätsmenge. Fliesst daher in t Sekunden die Elektricitätsmenge

*) Ampère 1775—1836. Ohm 1787—1854. Coulomb 1736—1806.

Q durch den Stromkreis, so wird die Stromstärke $J = \frac{Q}{t}$. Vergl. Ohm's Gesetz.

Spannung und Stromstärke sind nicht zwei verschiedene Eigenschaften des galvanischen Stromes, welche gleichzeitig vorhanden sind und sich bedingen. Es sind verschiedene Formen, in welchen man dieselbe Erscheinung zu verschiedenen Zwecken beschreibt. Wenn gesagt wird, in einem Leiter herrsche eine Stromstärke, so bedeutet dies in vielen Fällen nichts anderes, als der Leiter befinde sich in einem andern als dem Ladungszustande (mm^2 = Quadratmillimeter).

Poröse Gefässe für Elemente.

a. Die Thonzellen sind zwar nicht besonders teuer, man kann sie indes auch selbst anfertigen. Man wählt einen möglichst reinen Thon, knetet ihn mit etwas Wasser, entfernt kleine Steine und bildet eine plastische weiche Masse daraus. Will man einen cylindrischen Becher herstellen, so legt man über ein Wellholz ein Blatt Papier und darüber eine Schicht Thon von 2 bis 3 mm Dicke. Ist der Teig ein wenig erhärtet, so zieht man den Holzcylinder heraus, lässt den Becher in einem warmen Zimmer oder in der Sonne vorsichtig trocknen; wenn er beim Anklopfen einen metallischen Klang giebt, bringt man ihn ins Feuer und erhitzt bis zur Rotglut. Um den Becher noch poröser zu machen, mischt man unter den Thon fein gepulverte Holzkohle. Bei den Kupfersulfat-Elementen tränkt man den Boden der Thonzellen, um daselbst einen Kupferniederschlag zu verhindern, vor

dem Gebrauche mit Fett oder Paraffin. Auszuwaschende Thonzellen stellt man nach oberflächlichem Abspülen und Durchfiltrieren am besten längere Zeit ganz unter Wasser. Um das Auswittern der Salze am obern Rande zu verhindern, welches die Zelle rasch beschädigt, wird der Rand mit Schellacklösung oder geschmolzenem Paraffin getränkt. Bei dem Ansetzen eines Elementes soll die Thonzelle zuerst nicht mit der Kupfervitriollösung oder der Salpetersäure, sondern mit Schwefelsäure befeuchtet werden. Man fülle ferner die Schwefelsäure zu einer um $\frac{1}{10}$ bis $\frac{1}{5}$ höheren Säule ein, um das Durchdringen der andern, schwereren Flüssigkeiten zum Zink zu verhindern.

b. Man taucht die Zinkplatten, die auf beiden Seiten mit Glasplatten und Gasüberzug versehen sind, in eine Leimlösung, bis die Maschen des Überzuges geschlossen sind, nimmt den Beutel heraus, taucht ihn in eine Bichromatlösung (Bichromat = doppeltchromsaures Kali) und lässt die Masse unter Einwirkung des Lichts erhärten. Die Leimlösungen geben mit Kaliumbichromat, dem Lichte ausgesetzt, feste unlösliche Verbindungen. (S. 7 u. 8.)

c. Man fertigt zwei Becher aus Pappe so, dass ein Gipsbrei, zwischen sie gefüllt, einen Becher von 3 mm Wandstärke giebt. Werden diese Gipscylinder mit dem elektrolytisch leitenden gelatinösen kieselsauren Natron (Wasserglas) ausgefüllt, so erlangen diese Zellen neben grosser Festigkeit noch die Vorzüge einer guten Leitungsfähigkeit.

d. Auch Pergamentpapier wird bisweilen um die Zinke in Becherform gefaltet.

Die Thonzelle des Daniell-Elements wird mit der

Zeit von Kupfer durchzogen und dadurch zerstört; man hat sie darum zu umgehen gesucht in dem

Callaud-Krüger-Element. 1861.

(Fig. 15—17.) Das Gefäss wird bis $\frac{1}{5}$ mit Kupfervitriol aufgefüllt, nachdem auf den Boden eine Kupfer- oder Bleiplatte oder ein Bleistern, von denen ein isolierter Leitungsdraht nach oben geführt ist, gelegt worden ist. Auf die Kristalle wird sehr vorsichtig reines oder schwach angesäuertes Wasser oder eine

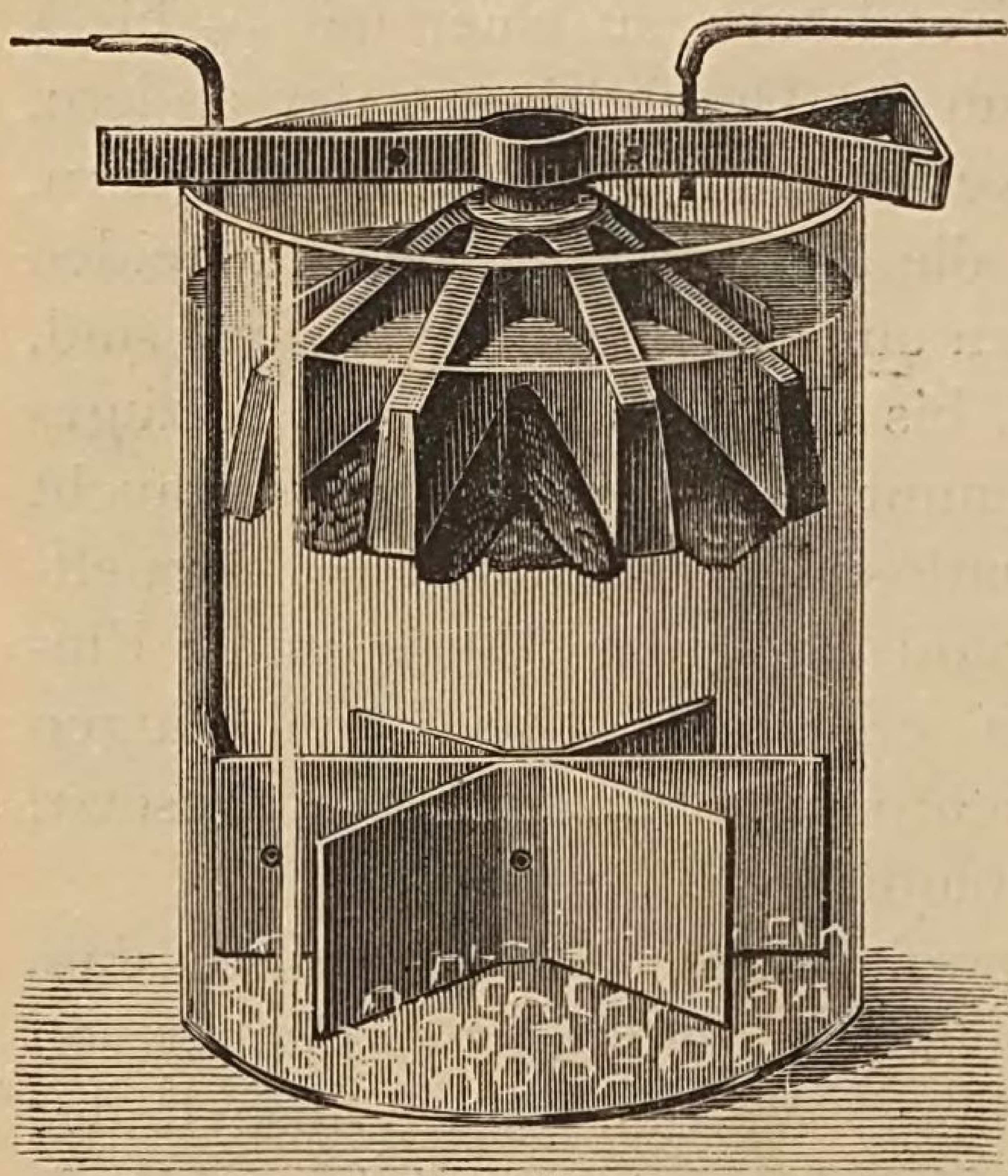


Fig. 15.

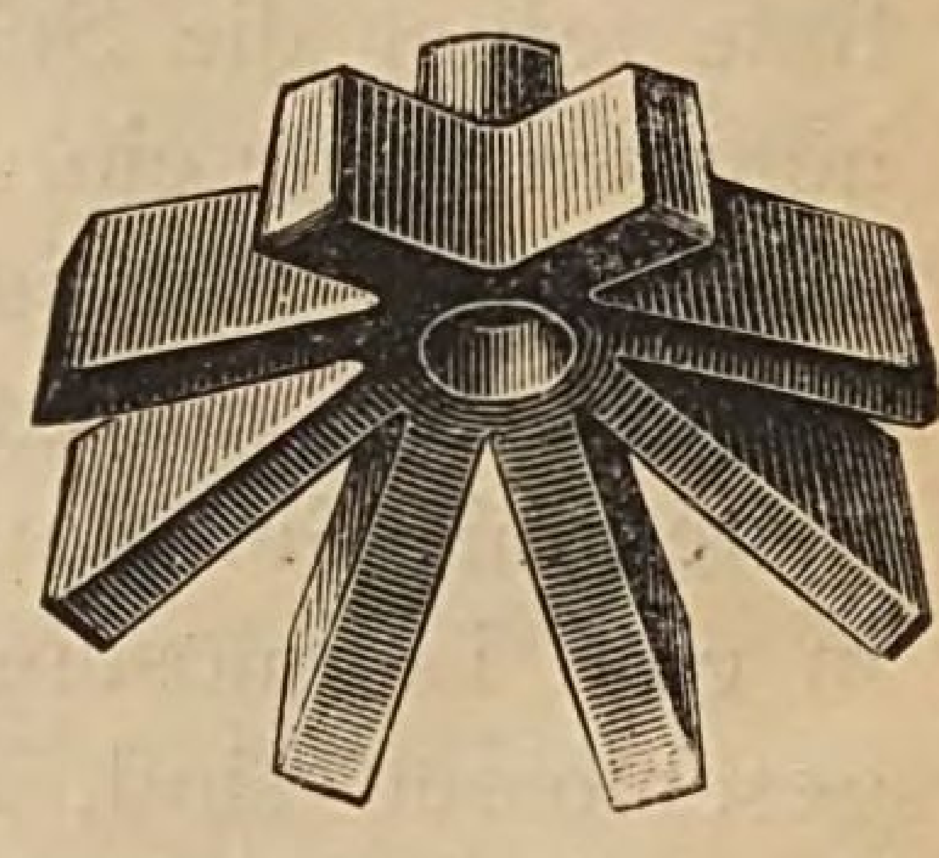


Fig. 16.

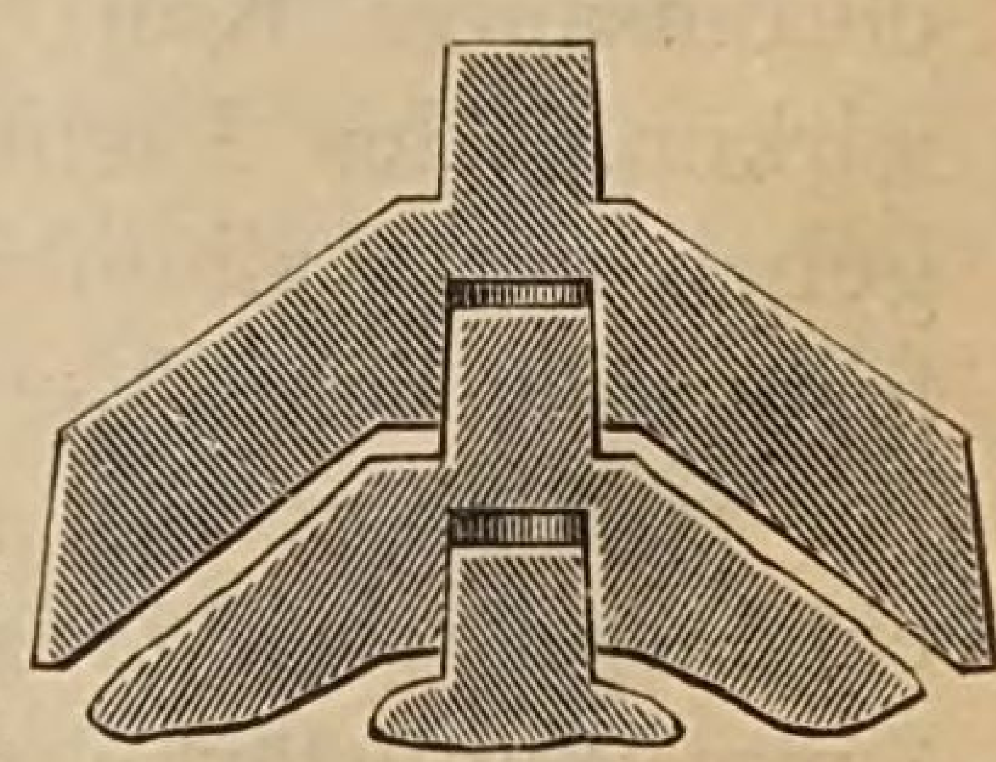


Fig. 17.

schwache Kochsalz- oder Bittersalzlösung gegossen. Der Vitriol löst sich auf; da aber seine Lösung schwerer ist als die aufgegossene Lösung, so steigt sie bei vollkommener Ruhe nicht zum Zink empor, wodurch sie bei Berührung mit Zink sich zersetzen und das Element zerstören würde.

Wie beim Koks-Element, kann man die Kupfer- oder Bleiplatte durch eine Kupferdrahtspirale ersetzen.

Abmessungen im öffentlichen Dienst. Glas cylindrisch, 106 mm innerer Durchmesser, 154 mm innere Höhe; Zinkcylinder 80 mm hoch, 95 mm äusserer Durchmesser, ca. 6 mm dick, 3 Haken zum Einhängen; Bleistreifen 160 mm lang, 50 mm breit, 1½ mm dick, zur Spirale gewunden; Poldraht mit Guttapercha isoliert, 1½ mm dick, 300 mm lang. Ansetzen mit weichem Wasser (Regenwasser); 20 g Bittersalz auf 1 l Wasser, für Lokalbatterien 80 g Bittersalz auf 1 l Wasser. Kupfervitriol in Stücken von Hasel- bis Walnussgrösse.

Eine gute Einrichtung des Zinks für diese Elemente hat G. d'Infreville getroffen. Das Zink hat Sternform. Das mit 8 radial angeordneten Streben versehene Zink enthält oben einen konischen Zapfen und unten eine konische Ausbohrung, derart, dass jedes Zinkstück mit seinem Zapfen in das Loch des andern passt. Zur Stromableitung dient eine aus Blechstreifen zusammengenietete Klammer, in welche sich der konische Zapfen des Zinkstücks fest einstecken lässt. Diese Klammer ruht alsdann auf dem Rande des Glases. Sobald nun ein Zinkstück soweit aufgebraucht ist, dass die Wirksamkeit des Elementes sich vermindert, wird es aus der Klammer genommen, ein neues eingesteckt und das teilweise aufgezehrte unten in die Ausbohrung des neuen eingesteckt. Auf diese Weise ist es möglich, fast jeglichen Zinkabfall zu vermeiden. Ein Element von etwa 1,5 kg Zinkgewicht, einem Glasgefäss von 15 cm Durchmesser und 20 cm Höhe hat einen innern Widerstand von

0,7 Ohm, eine EMK von 1,07 V und giebt einen Strom von etwa $1\frac{1}{2}$ Ampère.

Minotto's Element 1864

unterscheidet sich vom vorigen nur darin, dass über den Kupfervitriol-Kristallen eine Schicht reinen Sandes ausgebreitet ist, was aber den Widerstand erhöht und somit den Strom schwächt.

Das Cabaret-Element.

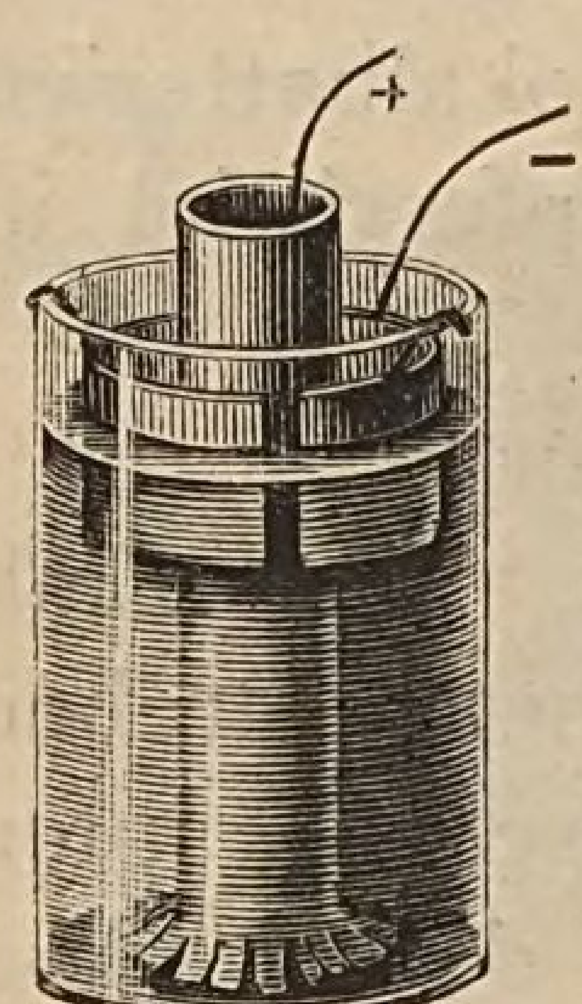


Fig. 18.

(Fig. 18.) Ein Bleicylinder von 3 bis 5 cm Weite ist an einem Ende so abgeschnitten, dass die ausgebreiteten Lappen als Fuss dienen. Er wird mit Kupfervitriol-Kristallen aufgefüllt. Im übrigen unterscheidet sich dieses Element nicht von dem Elemente Callaud-Krüger. Der Bleicylinder gestattet eine bequeme Nachfüllung und damit eine andauernde Benutzung des Elements.

Das Meidinger-Element 1859

(Fig.) 19) umgeht ebenfalls die Thonzelle. Das Zink taucht in eine Bittersalzlösung, das Kupfer oder Blei in Kupfervitriollösung. Der Zinkcylinder steht mit seinem unteren Rande auf der Einschnürung des Glases und ist mit einem Ableitungsdraht versehen. In dem Batterieglas befindet sich unten ein Glasbecher, dessen Rand etwas über die Einschnürung hinaufreicht. In demselben befindet sich ein Kupferdraht oder Kupferblech oder ein Bleiblech als positive Elektrode des Elementes. Ein mit Kupfervitriolkristallen (1500 g)

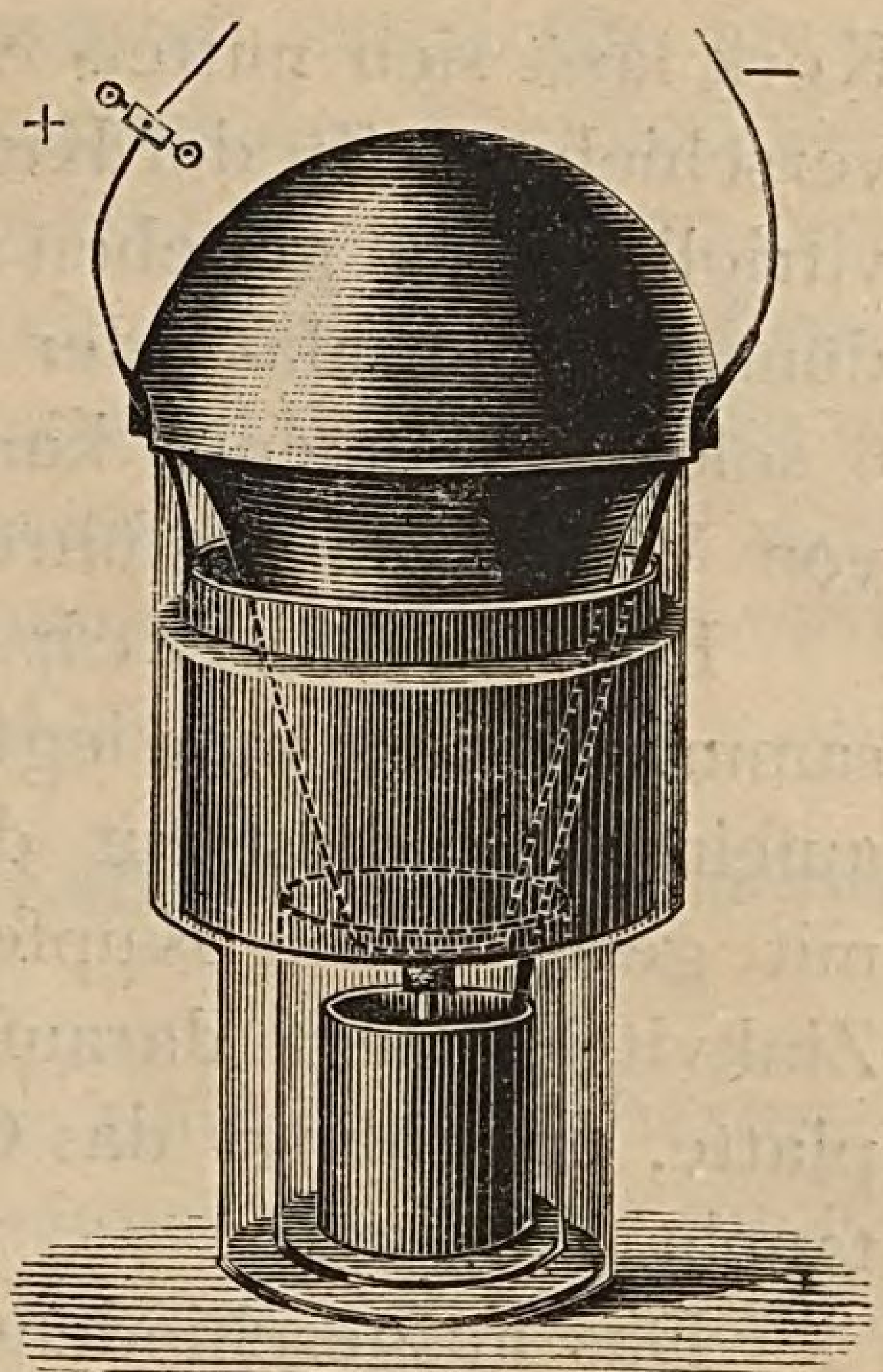


Fig. 19.

und Bittersalzlösung (50 g) gefüllter Ballon ruht mit seinem Bauche auf dem Rande des Batterieglases und taucht mit dem Halse in den Glasbecher. Der Hals ist mit einem Kork, in den ein enges beiderseits offenes Glasröhrchen gesteckt ist, geschlossen; nach der Weite dieses Röhrchens richtet sich der Zufluss aus dem Ballon in den Becher und damit auch der Verbrauch und die Strommenge. Die Konstanz dieses Elementes bleibt jahrelang, doch ist seine Kraft des grossen inneren Widerstandes wegen nicht bedeutend. Dieses Element wird bei Telegraphen-Anlagen vielfach benutzt. Setzt man bloss mit Wasser an, so schliesst man das Element vor dem Gebrauch 48 Stunden kurz.

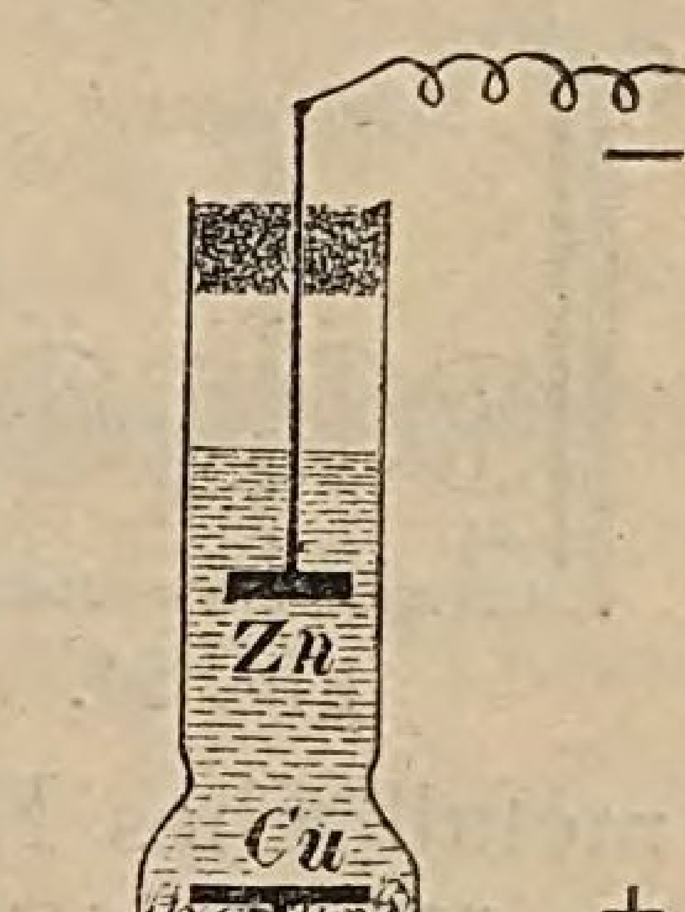


Fig. 20.

(Fig. 20.) Ein kleines Meidinger-Element, wie man solche für schwache, aber konstante Ströme zu Messungen und anderen Diensten braucht, lässt sich aus einem Lampencylinder anfertigen. (Vergl. Fig. 6.) Derselbe ist an beiden Enden durch Korke geschlossen; durch den unteren Kork ist ein etwa 1 mm dicker Kupferdraht geführt, an den eine Kupferplatte gelötet ist; durch den oberen

Kork lässt sich mittels Kupferdrahtes eine Zinkplatte verschieben. Zu der Kupferplatte sind einige Kupfervitriolkristalle gegeben; die Zinkplatte taucht in verdünnte Kochsalz- oder Bittersalz-Lösung. Mit etwa 6 solcher Elemente kann man eine ziemliche Reihe von Versuchen ausführen.

Ein sehr einfaches Element lässt sich so zusammenstellen: man legt Fliesspapier zu einem Bausch aufeinander, bestreut die äusseren Seiten, die eine mit gestossenem Kupfervitriol und die andere mit Zinkvitriol, legt darauf die Zink- und die Kupferplatte, umschlingt das Ganze mit Gummischnur und taucht in Wasser.

Das ausgeschiedene reine Kupfer sammelt man zum Verkauf oder für die Galvanoplastik.

Chemische Vorgänge in den Kupfersulfat-Elementen.

(Fig. 21.) Sämtliche Kupfervitriol-Elemente haben die Vorzüge, dass sie einen sehr konstanten Strom liefern, geruchlos sind und wohlfeile Materialien benützen; doch sind sie schwach und verzehren auch „offen" das Zink ein wenig. Sie erzeugen dadurch Strom, dass sie die Zinkplatte aufzehren, um daraus Zinksulfat zu bilden, und dass sie auf der Kupferplatte metallisches Kupfer ablagern. Kupfersulfat besteht aus Kupfer (Cu) und Schwefelsäure. — Die verdünnte Schwefelsäure der Thonzelle wirkt auf das Zink nach folgender Gleichung

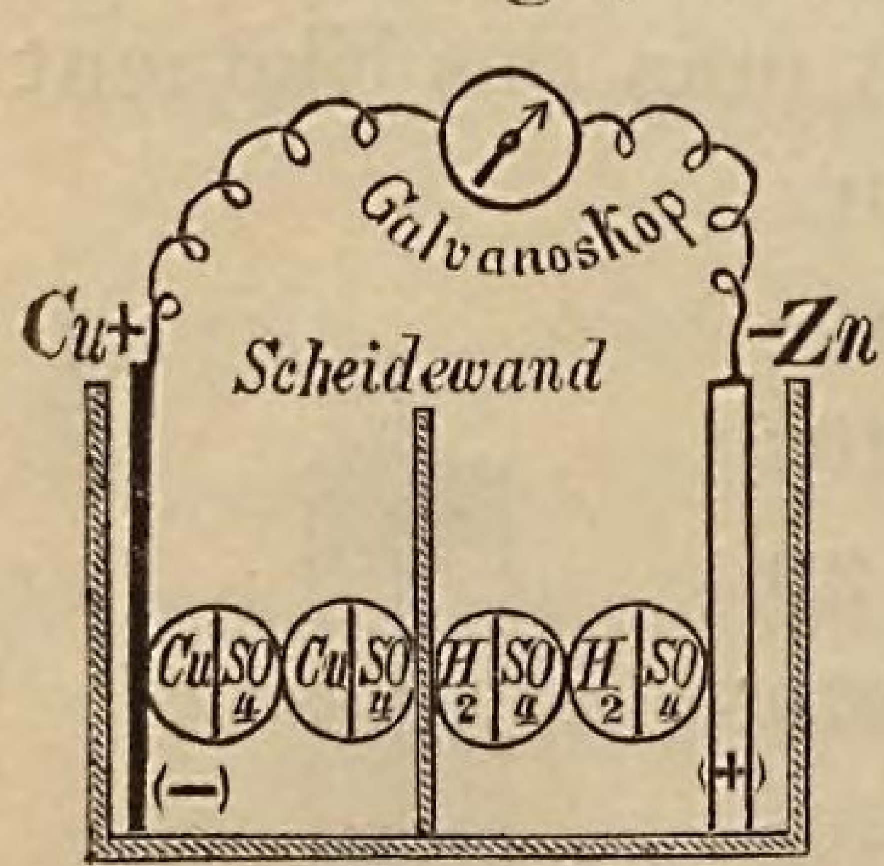


Fig. 21.

$$Zn + H_2SO_4 = ZnSO_4 + H_2,$$ (S. 13 u. 14.)

Wasserstoff wird also frei, er dringt durch das Thongefäss und kommt in Berührung mit dem Kupfervitriol. Er hat aber zur Schwefelsäure SO_4 eine grössere Neigung als Kupfer, tritt also an dessen Stelle, dieses legt sich an die Kupferplatte, macht deren Oberfläche rauh und erhöht so noch deren Wirkung. Der Austausch zwischen Wasserstoff und Kupfer erfolgt nach der Gleichung: $H_2 + CuSO_4 = H_2SO_4 + Cu$.

Das Ätzkali-Element von Lalande und Chaperon 1884

vereinigt leichte Herstellung, Stärke und Konstanz; aber seine Materialien sind teuer und es ist höchst unangenehm zu behandeln. Wer sich aber die Mühe nicht verdriessen lässt, kann die Materialien selbst herstellen. Es besteht aus irgend einem Gefäss von 10 cm Weite und 15 bis 20 cm Höhe, am besten aus Eisen oder Kupfer, woran man den einen Leitungsdraht lötet. Auf den Boden desselben kommt eine Schicht Kupferoxyd; die negative Elektrode ist ein amalgamierter Zinkblock oder eine Zinkspirale, deren Zuleitungsdraht durch einen Deckel aus Schiefer geht. Die Erregungsflüssigkeit ist eine 30 bis 40 %ige Lösung von Ätzkali in Wasser. Sie wird mit einer Schicht schweren Erdöls oder Paraffinöls bedeckt. Beim Stromschluss wird Wasser zersetzt. Der Sauerstoff bildet mit dem Zink Zinkoxyd, das sich in der Flüssigkeit löst; der Wasserstoff nimmt aus dem Kupferoxyd den Sauerstoff an sich, beide vereinigen sich zu Wasser und Kupfer wird ausgeschieden. Einem Gramm Zinkverbrauch entspricht ein Verbrauch von 3 g Ätzkali und 1,25 g Kupferoxyd.

Ätzkali bereitet man aus Pottasche; man löst diese in Wasser, kocht in einem eisernen oder kupfernen Kessel, setzt Kalkmilch bis zur Sättigung hinzu, kocht mindestens eine Stunde lang, ersetzt das verdunstete Wasser, lässt absetzen, giesst ab, dampft den Abguss bis zu Sirupdichte ein und giesst die Masse auf einen kalten Stein; man muss sie in wohlverstopften Glasgefässen aufbewahren.

Auch das Kupferoxyd, das in diesen Elementen zur Depolarisation dient, kann man selbst herstellen, wofern man Kupferfeilspäne oder Kupferdrehspäne zur Verfügung hat. Man erhitzt diese in einem eisernen Gefäss oder in einem Schmelztiegel bis zur Rotglut und bespritzt sie unter Umrühren mit einem Eisenstab mit etwas Wasser, bis sie ockerrot werden. Der Sauerstoff der Luft verbindet sich in der Hitze mit dem feinverteilten Kupfer.

Abänderungen des Ätzkali-Elementes. a. Man umgiebt ein Eisenstück von geeigneter Grösse mit einem Mantel aus durchlochtem Eisenblech und füllt den Hohlraum zwischen beiden mit Kupferoxyd und Eisenfeilspänen auf. Diese Elektrode steht mit der Zinkelektrode zusammen in einer Lösung von Ätzkali.

b. Man stellt eine Zinkplatte und eine mit Bleioxyd überzogene Eisenplatte in eine Lösung von Ätzkali. Die EMK ist anfangs 0,68 V und soll nach 100 Stunden bei geschlossenem Stromkreise noch 0,61 V betragen.

c. Man presst das Kupferoxyd mittels Bindemittels zu Platten.

Kohlenelektroden. Spannungsreihe. Ritter 1798.

Unter elektrischer Spannungsreihe versteht man eine Zusammenstellung von festen Körpern, welche so geordnet sind, dass jeder in dieser Reihe aufgeführte Körper, mit einem der ihm nachstehenden in Berührung gebracht, positiv elektrisch, dagegen, mit einem der ihm vorangehenden Körper in Berührung gebracht, negativ elektrisch wird.

+ Zink, Blei, Zinn, Wismut, Antimon, Eisen, Kupfer, Gold, Kohle, Platin, Graphit, Braunstein —.

Die EMK, welche bei Berührung zweier in der Spannungsreihe enthaltenen Körper auftritt, ist um so grösser, je weiter die Körper in dieser Reihe von einander entfernt sind.

Diesem Gesetze zufolge hat man die Kupferplatte der Elemente durch die negativere Kohle ersetzt (Koks-Element).

Es hält indessen schwer, Koksplatten oder Kokscylinder herzustellen; der Koks ist zerbrechlich und zerfällt beim Sägen nicht selten zu Pulver; am ehesten lässt er sich auf einem rauhen Sandstein behandeln. Zwar sind die künstlich gefertigten Kohlen in allen Formen und zu ziemlich niedrigem Preise zu beziehen, um aber auch hierin Anleitung zu Selbstanfertigung zu geben, teilen wir einige Vorschriften mit.

a. Man mischt 15 Teile fein zerstossenen Koks oder krystallinischen Graphit, 8 Teile Russ und 8 Teile Sirup (Zuckermelasse) recht gut unter einander, presst den Teig in die gewünschte Form, lässt trocknen und glüht bei Luftabschluss. Hat man mehrere Stücke

in derselben Ausglühform, so trennt man sie durch Papierblätter und eine Schicht Kokspulver.

b. Man glüht bei Luftabschluss ein Stück Holz sehr langsam zu Holzkohle; imprägniert das erhaltene Kohlenstück mit Zuckermelasse oder geschmolzenem Talg oder mit Asphalt, glüht wieder und wiederholt das Verfahren, bis die Kohle hart, dicht und gut leitend ist.

In gleicher Weise werden die Kohlenstäbe für Bogenbeleuchtung hergestellt.

Kriechen der Salze.

Wenn ein Kohlenstück einige Zeit in einer Flüssigkeit steht, so steigt diese in den Poren der Kohle wie in Kapillarröhren empor, zerstört allmählich die Metalle, die zur Ableitung der Elektricität um den Kopf der Kohle gelegt werden müssen und unterbricht die Leitung. Man macht darum die Kohle heiss und taucht ihren Kopf einige cm tief eine Stunde lang in siedendes Paraffin; dieses füllt die Poren aus und verhindert das fernere Nachsteigen der Flüssigkeit. (Capillus = Haar.)

Auch an den Glaswänden der Gefässe ziehen sich die Flüssigkeiten hinauf, scheiden Salze aus und diese kriechen über den Rand. Man beseitigt diesen Übelstand dadurch, dass man den Gefässrand auf beiden Seiten einige cm breit mit Vaselin einreibt.

Verbindungsschrauben und Polklemmen.

Die Einrichtung der Verbindungsschrauben und Klemmen ist verschieden, je nach der Lage, welche für die zu verbindenden Leitungsdrähte erforderlich ist.

Die Verbindungsschrauben bestehen meist aus einem Messingcylinder (Fig 22—26, etwa halbe Grösse), welcher zwei Durchbohrungen hat, in welche je eine Schraube eingedreht wird. In diese Durchbohrungen werden die beiden Leitungsdrähte gesteckt und durch die Schrauben möglichst fest angepresst. Die Weite der Bohrungen soll womöglich nur so gross sein, dass die Drähte gerade hineinpassen, damit die Berührung zwischen Draht und Bohrung eine recht innige wird.

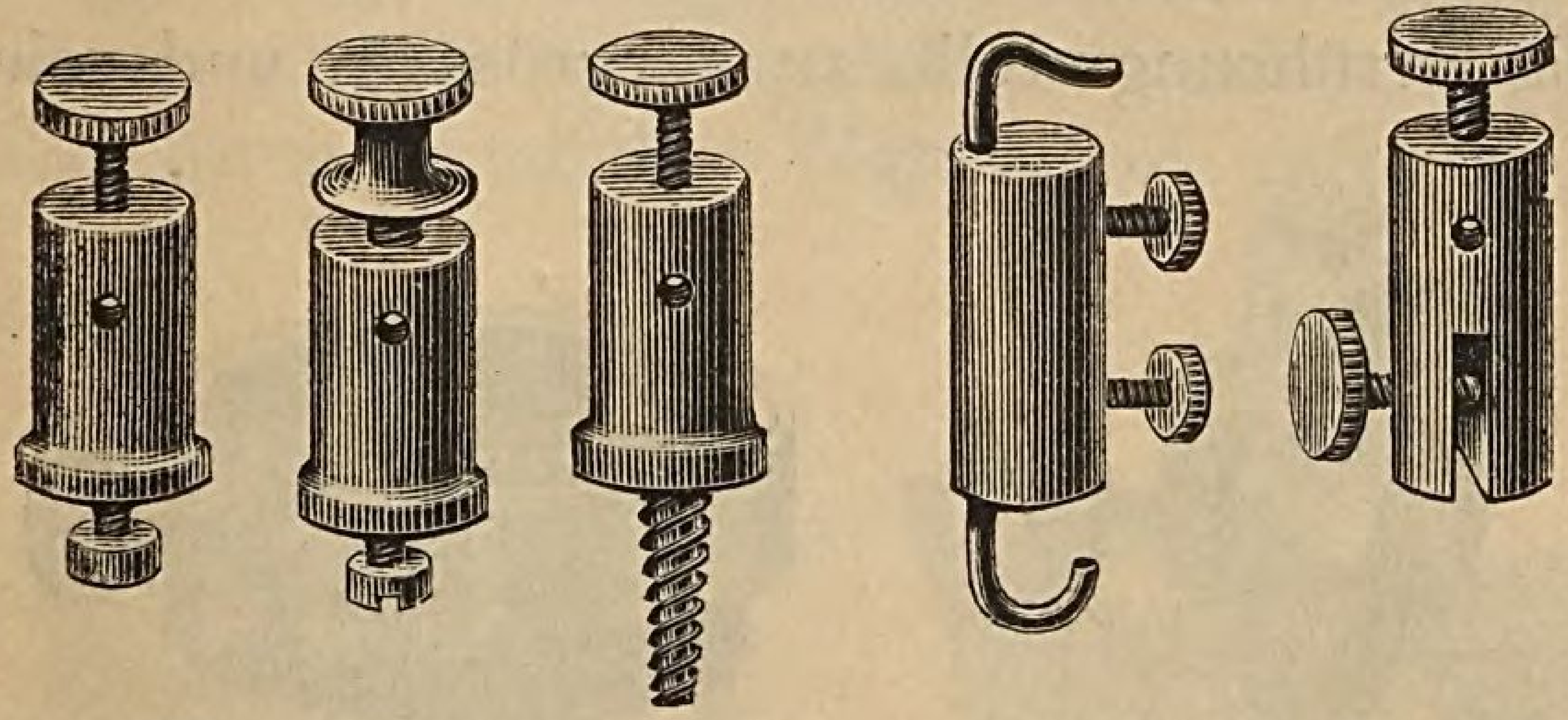


Fig. 22. Fig. 23. Fig. 24. Fig. 25. Fig. 26.

Sollen die Schrauben als Polklemmen dienen, so werden sie an die Elektroden direkt angelötet oder an einen an die Elektrode fest gelöteten Draht angeschraubt. Wird ein an eine Elektrode gelöteter Draht durch eine Flüssigkeit geführt, so wird er zum Schutz gegen die Einwirkung derselben mit einem Gummischlauch oder einer Glasröhre überzogen (Meidinger Element).

Klemmschrauben, welche Leitungsstreifen verbinden, erhalten einen passenden Schlitz (Fig. 26). Eine Klemmschraube, die in Holz getrieben wird, bekommt einen konisch zulaufenden Stift mit grobem Gewinde (Fig. 24).

Auch Quecksilbernäpfe dienen bisweilen zu Verbindungen. An diese Näpfe werden die Leitungsdrähte befestigt; je zwei der Näpfe werden mit einander leitend verbunden, indem man einen bügelförmig gebogenen Draht in beide eintaucht. S. Stromwender!

Um einen Draht mit einer prismatischen Kohle zu verbinden, verwendet man einen mit einer Klemmschraube versehenen Bügel (Fig. 27), welcher durch eine seitliche Schraube an die Elektrode festgepresst wird. Zwischen Kohle und Schraubenspitze legt man, um die Berührungsstelle zu vergrössern und rein zu

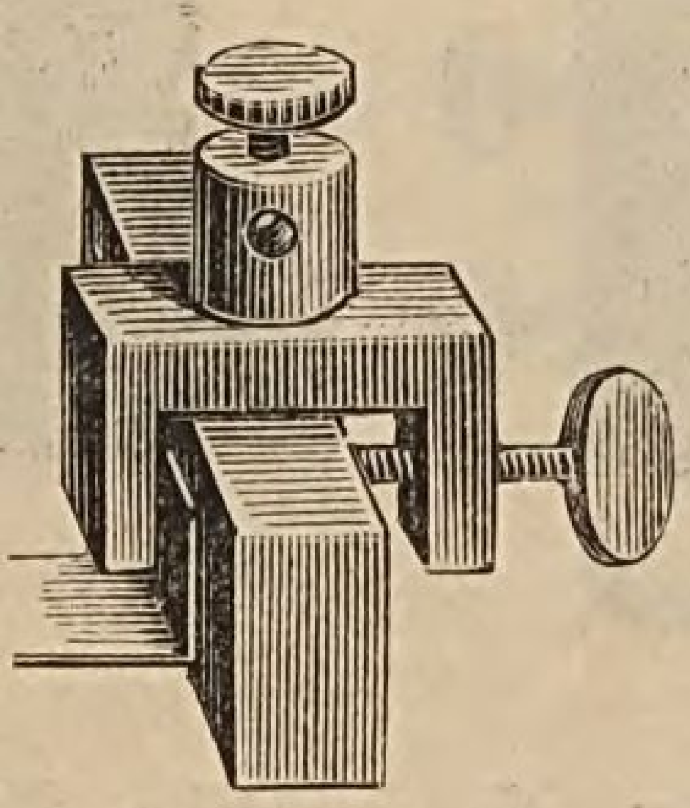


Fig. 27.

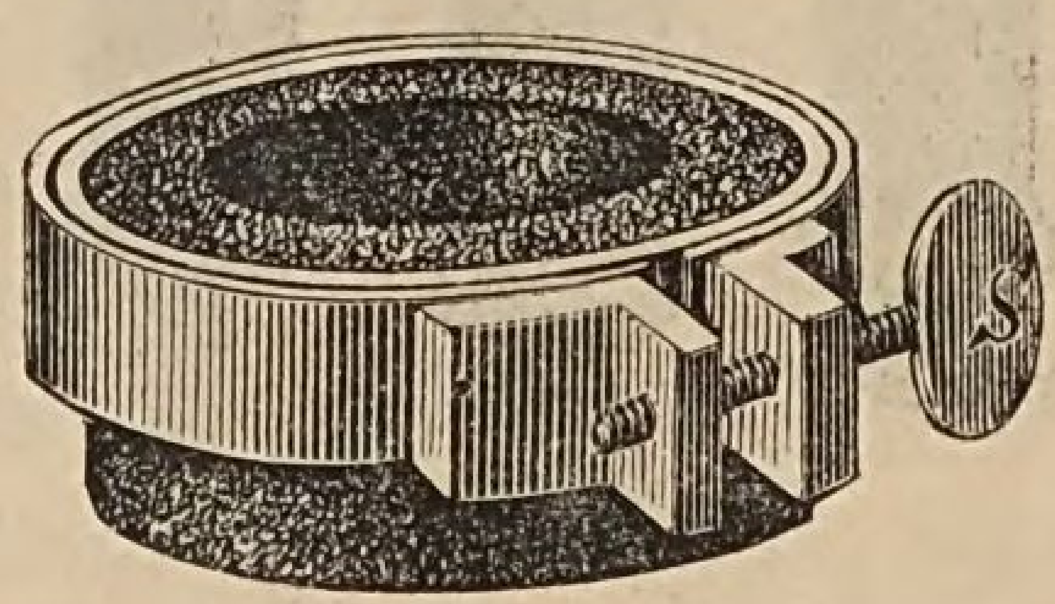


Fig. 28.

halten, eine Metallplatte. Man kann auch den Kohlenkopf ganz mit Harz überziehen, der Schraube eine Platinspitze geben und diese in die Kohle eintreiben.

Bisweilen wird der Kopf der Kohlenprismen oder massiven Kohlencylinder mit einem Gussstück aus Zinn oder Blei versehen, nachdem dieser Kopf mit Paraffin getränkt worden.

Um grössere Kohlencylinder legt man zunächst einen Bleistreifen, über diesen einen Kupfer- oder Messingring (Fig. 28), der durch die Schraube S zusammengepresst wird.

Oder man legt um die Kohle einen Ring mit

Bügel und drückt mit der Schraube S (Fig. 29) das Berührungsplättchen an die Wand.

In Figur 30 ist an den Leitungsdraht ein Kupferblech angelötet und dieses wird an die Wandung des Kohlencylinders durch den mit Schraube S versehenen Bügel festgedrückt. Der Bügel ist geschlitzt, um den Leitungsdraht hindurch zu lassen. Zum Schutz des Kupferbleches ist es vorteilhaft, dasselbe zu platinieren.

Alle Kontaktstellen müssen durchaus metallisch rein sein, weil jede Art von Schmutz oder ein Überzug von Metalloxyd den Widerstand vermehrt und

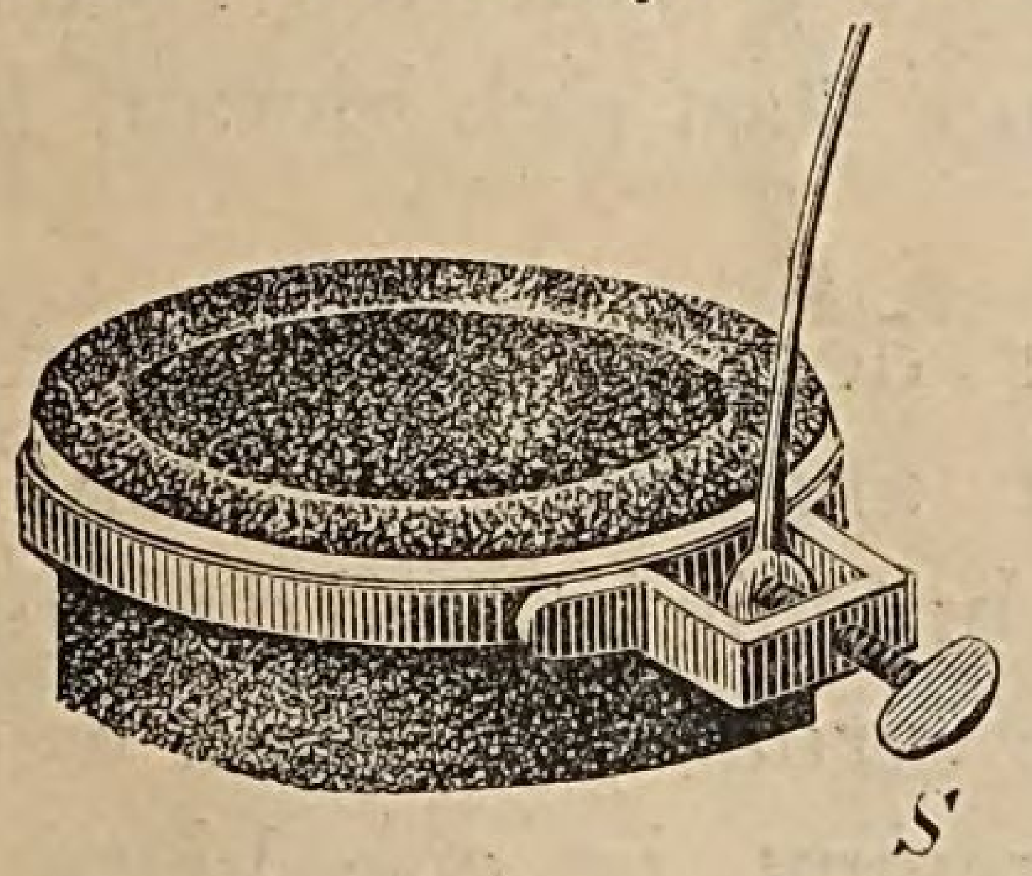


Fig. 29.

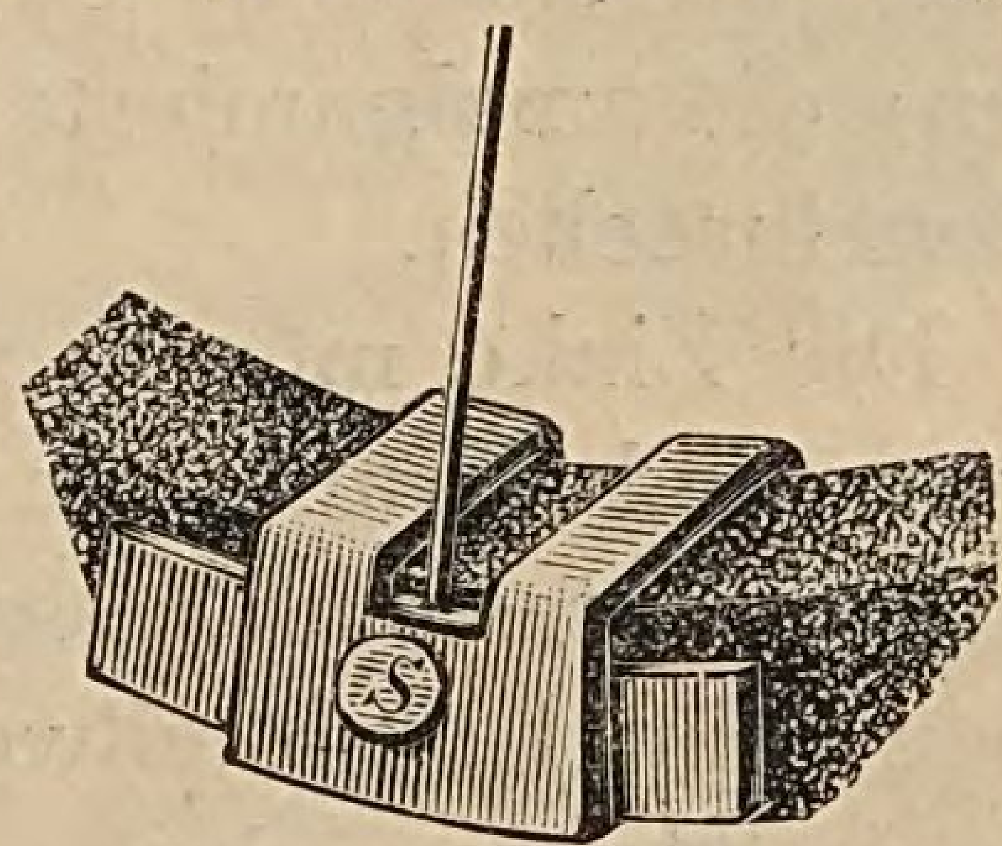


Fig. 30.

den Strom schwächt. Um diese Stellen zu reinigen, werden sie mit feinem Glas- oder Schmiergelpapier so lange gerieben, bis Metallglanz erfolgt. Einreiben mit Vaselin oder einem anderen Mineralöl oder ein Ueberzug von Schellack schützt die Metalle vor dem oxydierenden Einfluss der Luft.

Die Verbindungen mit Quecksilber sind zwar besser als die mit Klemmschrauben, da dieses die eintauchenden Enden der Metalldrähte amalgamiert; aber man wendet sie selten an, weil die Klemmschrauben bequem zu handhaben und billiger sind und das Quecksilber leicht umhergeschüttet wird.

Die Zinke der Elemente.

Es kommt bisweilen vor, dass man die erforderlichen Zinke nicht erhalten kann. Man schneidet dann Zinkstücke zusammen und schmilzt sie in einem Tiegel oder einer eisernen Pfanne unter einer Decke von Holzkohlenstaub. Die Kohle verhindert die Oxydation. Die geschmolzene Masse giesst man zwischen Ziegelsteine, deren Fugen mit Lehm verstrichen sind.

Dicke Zinkplatten zerschneidet man so: man macht mit der Feile einen tiefen Strich, bringt in die Rinne einige Tropfen Quecksilber, verteilt dies in der Rinne mit einem in Salzsäure getauchten Holzstäbchen; die amalgamierte Fuge lässt sich hierauf leicht entzweibrechen.

Die Zinke müssen v o r der Amalgamation gebogen und Drähte an sie angelötet werden, weil amalgamiertes Zink äusserst brüchig ist, und das Quecksilber beim Löten teilweise verdampft. Zink, welches Quecksilber nur schwer annimmt, ist eisenhaltig und für Elemente beinahe untauglich. Gewalztes Zink ist gegossenem vorzuziehen.

Bei Elementen mit porösen Zellen (Diaphragmen) giesst man etwas Quecksilber zum Zink, damit die Amalgamation während des Stromschlusses gesichert ist.

Zink wird mit Wasser oder Öl gebohrt, Messing trocken und Kupfer mit Seifenwasser. Die Schrauben müssen beim Zink ziemlich grobes Gewinde haben.

Braunstein-Elemente. 1868.

a. Das Sack-Element. (Fig. 31.) Der Braunstein, Manganhyperoxyd, Pyrolusit, soll ein nadelartiges

Gefüge haben, seidenglänzend sein und Graphitglanz besitzen; nur so hat er die nötige Leitungsfähigkeit.

Man hat zwar für die Braunstein-Elemente häufig eigentümlich gestaltete Gläser, kann jedoch alle Cylindergläser und Thongeschirre dazu benutzen. In ein kleineres Säckchen von der Höhe des Gefässes und von 5 bis 6 cm Weite stellt man einen Kohlenstab (z. B. von einer Bogenlampe), füllt ringsum mit einem Gemenge von Koks- und Braunsteinstückchen ($Mn\,O_2$) und knüpft mit einer Schnur zu. Der Zinkstab oder die Zinkplatte darf das Säckchen nicht berühren. Das Zink wird nicht amalgamiert, das abtropfende Quecksilber würde zwischen Zink und Kohle eine Leitung, einen Kurzschluss, herstellen. Was die Flüssigkeit betrifft, so soll sie aus einer gesättigten Auflösung gereinigten Ammoniaksalzes (350 g Wasser, 100 g Salmiak) bestehen, da unreines leicht Chlorblei oder Bleisulfat enthält, eine Verunreinigung, welche dadurch schädlich wirkt, dass sich das Metall am Zink niederschlägt, wodurch ein andauernder Zinkverbrauch eingeleitet wird.

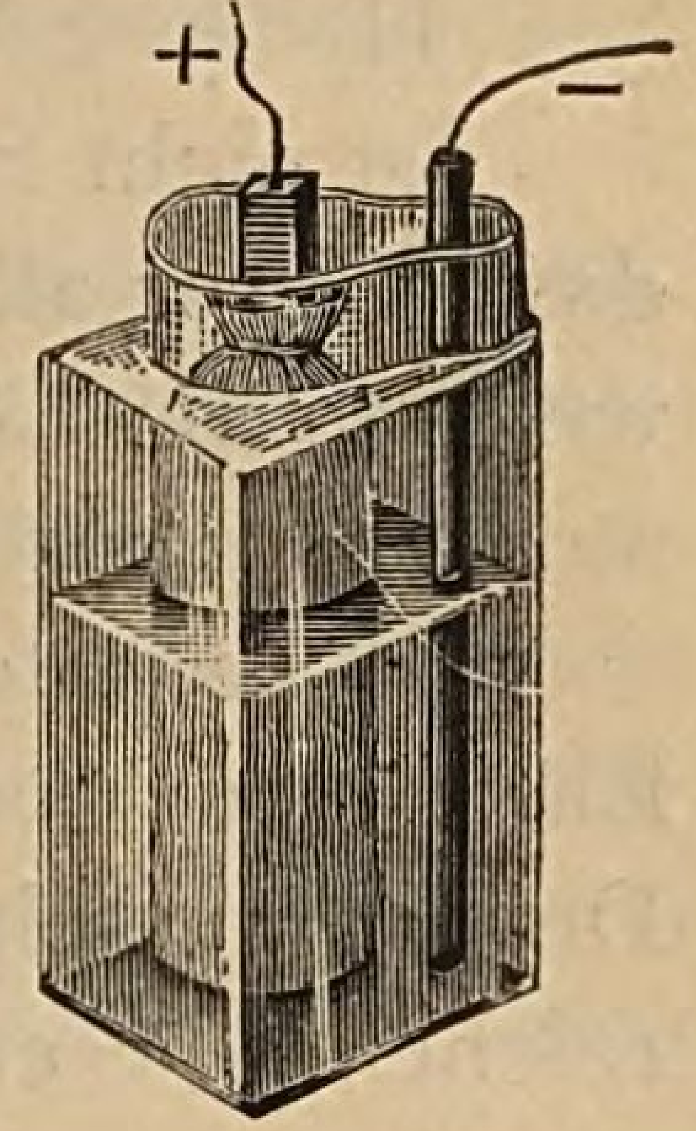


Fig. 31.

Chemischer Vorgang. Das Zink ergreift vom Salmiak = $2\,N\,H_2\,Cl$ das Chlor und bildet damit Chlorzink $Zn\,Cl$, während das Ammoniak $2\,N\,H_4$ frei wird. Da dieses elektropositiv ist, wird es gegen die negative Platte getrieben und spaltet sich an der Kohlenoberfläche in $2\,N\,H_3$ und freien Wasserstoff. Das Ammoniak $2\,N\,H_3$ entweicht und kann an seinem Geruch entdeckt werden, während aus dem Braunstein

$= 2\,MnO_2$ ein Atom Sauerstoff den Wasserstoff H_2 ergreift und damit Wasser bildet, wobei der Braunstein in Mn_2O_3 übergeht.

Diese beiden Prozesse lassen sich durch die Formeln darstellen:

$$Zn + 2\,NH_4Cl = ZnCl + 2\,NH_3 + H_2$$
$$H_2 + 2\,MnO_2 = Mn_2O_3 + H_2O.$$

Ist nicht Salmiak genug in der Lösung, so wirkt das Wasser allein auf das Zink, es entsteht Zinkoxyd, welches die Lösung milchig macht. In diesem Falle muss man also Salmiak zufügen.

b. Element mit losem Braunstein. (Fig. 32.) Ein 15 cm weites, 20 bis 25 cm hohes, mit einem Deckel versehenes Glas enthält eine bis zum Boden reichende, 8 cm breite und 30 cm lange Kohlenplatte, welcher in einer Entfernung von 6 bis 8 cm eine ebenso breite Zinkplatte gegenüber hängt. Um die Kohle wird, etwa 6 cm hoch, eine Mischung aus gleichen Teilen Koks- und Braunsteinkörnern eingefüllt, auf welche man eine gesättigte Salmiaklösung (ca. 50 g Salmiak) bis 5 cm unter den Rand des Glases aufgiesst. Das Zink taucht anfänglich nur wenig in die Flüssigkeit und wird, wenn der Strom nachlässt und das Zugeben von Salmiak nicht mehr hilft, dadurch tiefer eingesenkt, dass man den Stift, welcher quer durchgesteckt ist und so als Träger dient, in ein oberhalb gebohrtes Loch einführt. Die Zinkplatte ist amalgamiert, und die Kohle dort,

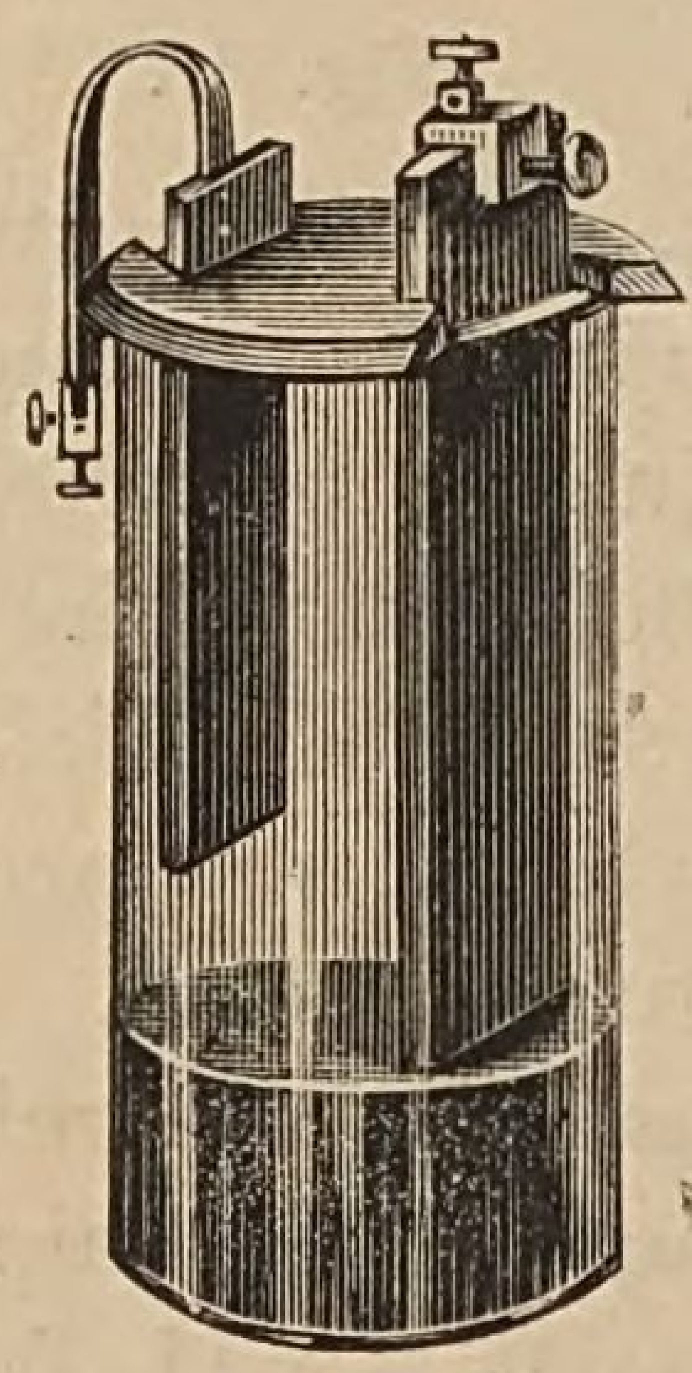


Fig. 32.

wo sie aus der Lösung heraustritt, mit einer Isoliermasse überzogen. Die Einfachheit und Billigkeit dieser Zusammenstellung empfehlen diese Elemente für die Haustelegraphie.

Mit der Zeit überzieht sich die Mischung von Kohle und Braunstein mit weissem Salze. Man erwärmt die Masse scharf und siebt die abgeschüttelten Kristalle ab.

Die Bildung dieser Salze, Chlorzinkammoniak und Zinkchlorid, wird vermieden, wenn man zu einer 5%igen Salmiaklösung 5% Glycerin zusetzt oder zu einer konzentrierten Salmiaklösung $\frac{1}{10}$ ihres Volumens Essigsäure (acidum aceticum glac.) und etwas Holzessig giesst. Dem Verdunsten soll durch sorgfältigen Verschluss vorgebeugt werden, Wasserzusatz also unterbleiben.

Bei Braunstein-Elementen soll die Kohle möglichst weit über die Flüssigkeit herausragen, weil die Kohle Sauerstoff „einatmet", so zur Depolarisation beiträgt und den chemischen Vorgang verstärkt.

c. Das Braunstein-(Leclanché) Element mit Thonzelle und mit Briquetts. 1876. (Fig. 33 u. 34.) Das Säckchen kann nach Gaiffe durch eine Thonzelle und durch ein durchlochtes Thongeschirr ersetzt werden; allein es wird damit der Widerstand erhöht und man hat sie wieder beseitigt, indem man Braunstein und Koks in Platten oder Cylinder zusammenpresste. Diese Platten bestehen aus 40% Braunstein, 44% Graphit, 9% Steinkohlenteer, 0,6% Schwefel und 6,4% Wasser; oder aus 40 T. Braunstein, 50 T. Kohle und 5 T. Schellack. Die Stoffe werden fein gemahlen, gemischt und unter einem Druck

von 300 Atmosphären und bei 300° bis 350° Celsius in Formen gepresst; sie werden entweder für sich allein gebraucht oder mittels Kautschukbänder an Kohlenplatten enge gehalten. Sollen die Braunstein-Elemente *lange Zeit Strom* geben, so sind folgende *Bedingungen* zu erfüllen: 1. der Salmiak muss rein sein; 2. der Aufbewahrungsort trocken und von mittlerer Temperatur; 3. das Kriechen der

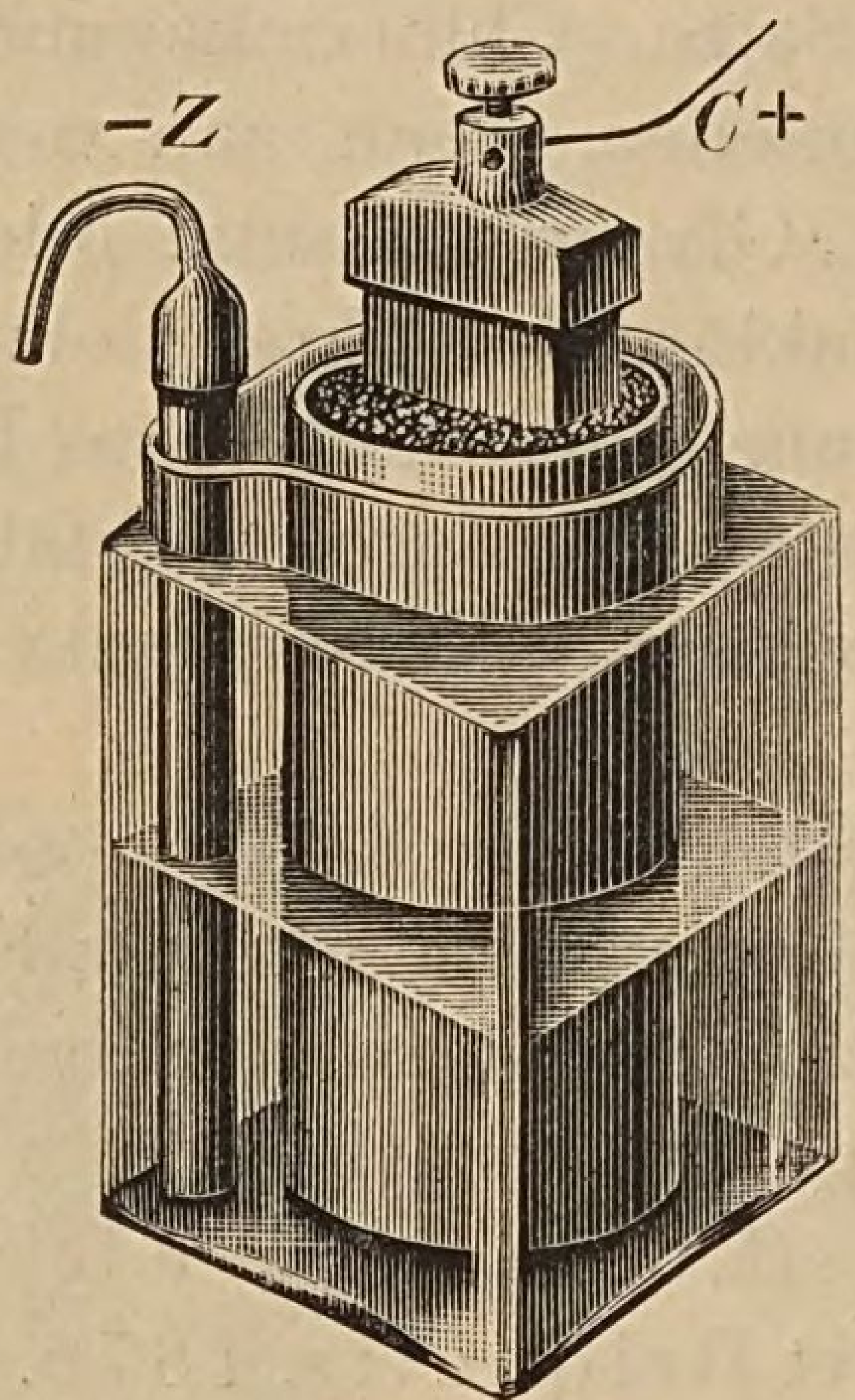


Fig. 33.

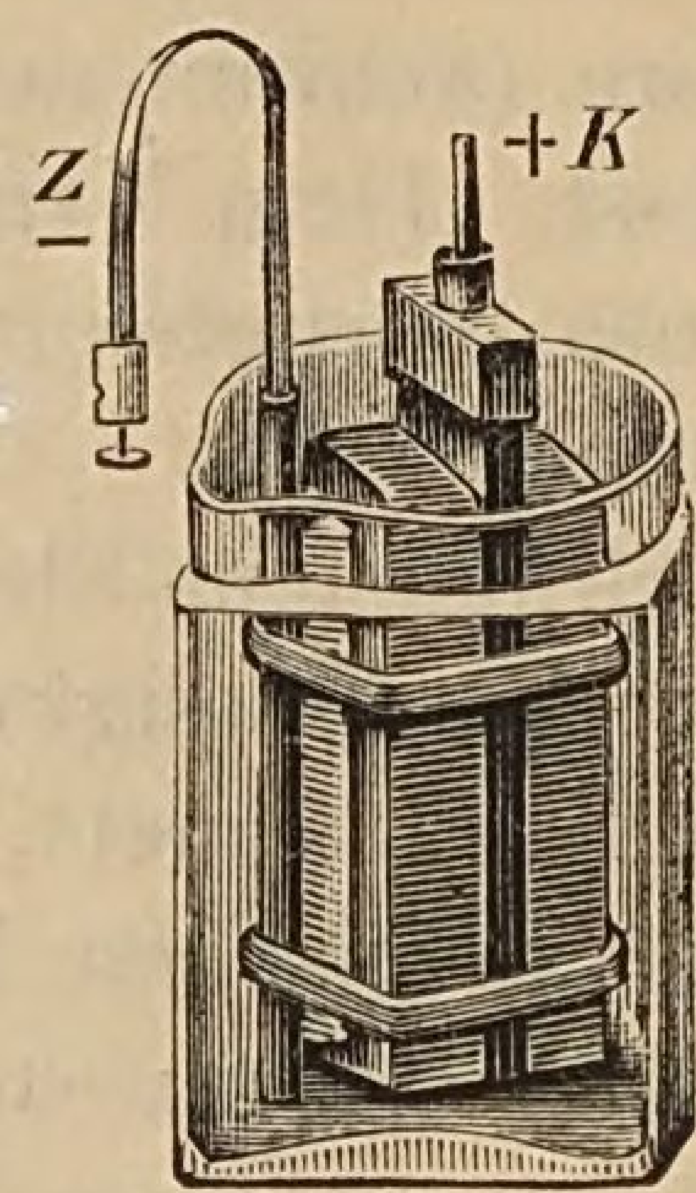


Fig. 34.

Salze ist zu verhindern, wozu man eine Schicht Erdöl oder Paraffinöl aufgiesst; 4. die Kontakte seien rein; 5. verdunstetes Wasser ist zu ersetzen; 6. wird die Lösung milchig, fülle man Salmiak nach; 7. die Kristalle, welche sich auf dem Zink absetzen, sind abzukratzen.

Für ein Element reichen 100 g Salmiak aus oder 60 g Salmiak, 30 g Kochsalz und 30 g

Chlorzink. Die EMK beträgt etwa 1,46 Volt und der innere Widerstand ungefähr 2 Ohm; die mittlere Grösse der Thonzelle 13 cm Höhe und 6 cm Durchmesser. — In einer abgeänderten Form wird die Thonzelle ersetzt durch einen harten hohlen Kohlencylinder; in diesen wird die Mischung von Braunstein und Kohlenstücken gegeben, unten mit durchlöchertem Kork geschlossen und einige cm vom Boden aufgehängt oder auf Glas gestellt. Zu empfehlen ist es, den Zinkstab in ein kleines Gefäss mit Quecksilber zu stellen. Bei schmalem Zinkstab hat die Kohle das Übergewicht und die Depolarisation ist vollkommener.

Das Element Marié-Davy (1859)

wurde früher vielfach für elektromedizinische Apparate gebraucht. Es besteht aus einem kleinen Gefäss von höchstens 10 cm Höhe, das reines Wasser und einen Zinkstreifen enthält, und aus einer Thonzelle, in der ein Kohlenstab von einem Brei aus Quecksilbersulfat und Wasser umgeben ist. Man stellt dieses Salz her, indem man Quecksilber in verdünnter Schwefelsäure kocht. Das Salz ist in Wasser unlöslich; wenn aber der Stromkreis geschlossen wird, zersetzt es sich und zerfällt wieder in Schwefelsäure, die das Zink angreift, und in Quecksilber, das sich in der Thonzelle ansammelt.

Für medizinische Zwecke giebt man diesem Element eine andere Form. In ein hölzernes, aus einem Stück gearbeitetes Troggefäss von 3 bis 4 cm innerer Länge und Breite und 2 bis 3 cm Höhe legt man eine Kohlenplatte mit seitlich eingeschlagenem Platinstift, bringt darauf etwas Salz, giesst wenig Wasser

zu und legt die Zinkplatte auf, welche aber die Kohlenplatte nicht berühren darf. Der Trog kann noch einfacher ein Kohlengefäss sein. Kohle und Zink bilden auch hier die Elektroden des Elementes. Zwei bis drei solcher auf Spannung verbundener Elemente genügen, um ein kleineres Induktorium in Betrieb zu setzen.

Bichromat-Elemente.

a. Flaschen-Element. (Fig. 35 u. 36.) In einer langhalsigen Flasche tauchen zwei Kohlenplatten, zwischen denen eine Zinkplatte auf- und abbewegt werden kann, in eine Lösung von doppelt-chromsaurem Kali oder Natron (Kaliumbichromat, Natriumbichromat, bi = zweifach) in Schwefelsäure und Wasser. Für diese Lösung haben wir schon beim Koks-Element eine Vorschrift gegeben; andere Vorschriften sind noch: Bichromat 48,4; Schwefelsäure 42,8 und Wasser 200; oder 250, 550 und 1000; oder 16, 17 und 100 g.

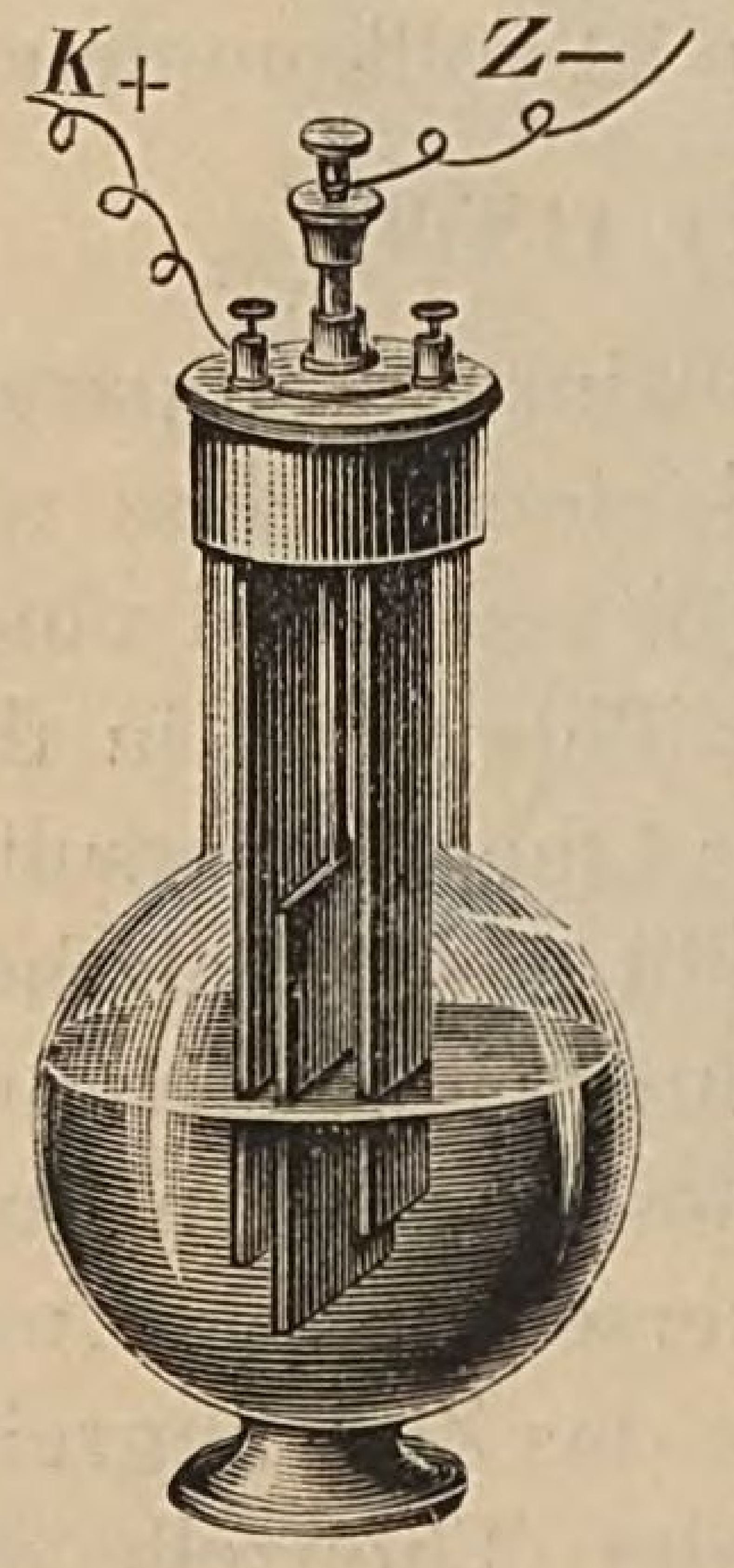


Fig. 35.

Die erstere dieser Formeln stimmt mit den chemischen Äquivalenten überein:

$$KO \cdot 2CrO_3 + 7SO_3 + 3Zn = 3(ZnO \cdot SO_3) + KO \cdot SO_3 + CrO_3 \cdot 3SO_2.$$

Man erhält also eine Auflösung von Zinksulfat (Zinkvitriol) und Chromalaun. Nach Bunsen erhält man 1 l Flüssigkeit, indem man 92 g gestossenes

doppeltchromsaures Kali (Natriumchromat löst sich ohne dies) mit 94 cm³ englischer Schwefelsäure zu einem gleichförmigen Brei zusammenrührt. Ehe dieser erstarrt, setzt man 900 cm³ Wasser zu und rührt, bis alles gelöst ist (cm³ = Cubikcentimeter).

Das entstandene schwefelsaure Natron ist leicht löslich, während die schwer löslichen schwefelsauren Kaliumkristalle in die Kohlen eindringen und dieselben sprengen könnten. — Der Erhitzung wegen ist die Mischung und Lösung derselben in einem Steingut- oder Porzellangefäss vorzunehmen.

Auf die Flaschenöffnung setzt man einen Holz- oder Korkstopfen und befestigt auf dessen unterer Seite die Kohlen in folgender Weise. In eine rechteckige Kupferplatte bohrt man verschiedene Löcher, wie die Figur 36 zeigt, haut dann von einem inneren Rechteck die beiden Längsseiten und die Mitte auf, biegt die entstandenen beiden Lappen und zwei äussere Lappen auf, so dass die Kohlen zwischen die beiden Falze wohl passen. Die Kohlen werden vor dem Einfügen durchbohrt und sorgfältig paraffiniert. Dann erst werden sie, wie aus der Figur (Fig. 36) ersichtlich, mit Schrauben in den Falzen befestigt, und endlich wird das Ganze an den Flaschenstopfen angeschraubt. Die Zinkplatte hat die Breite der Kohlen, ist aber

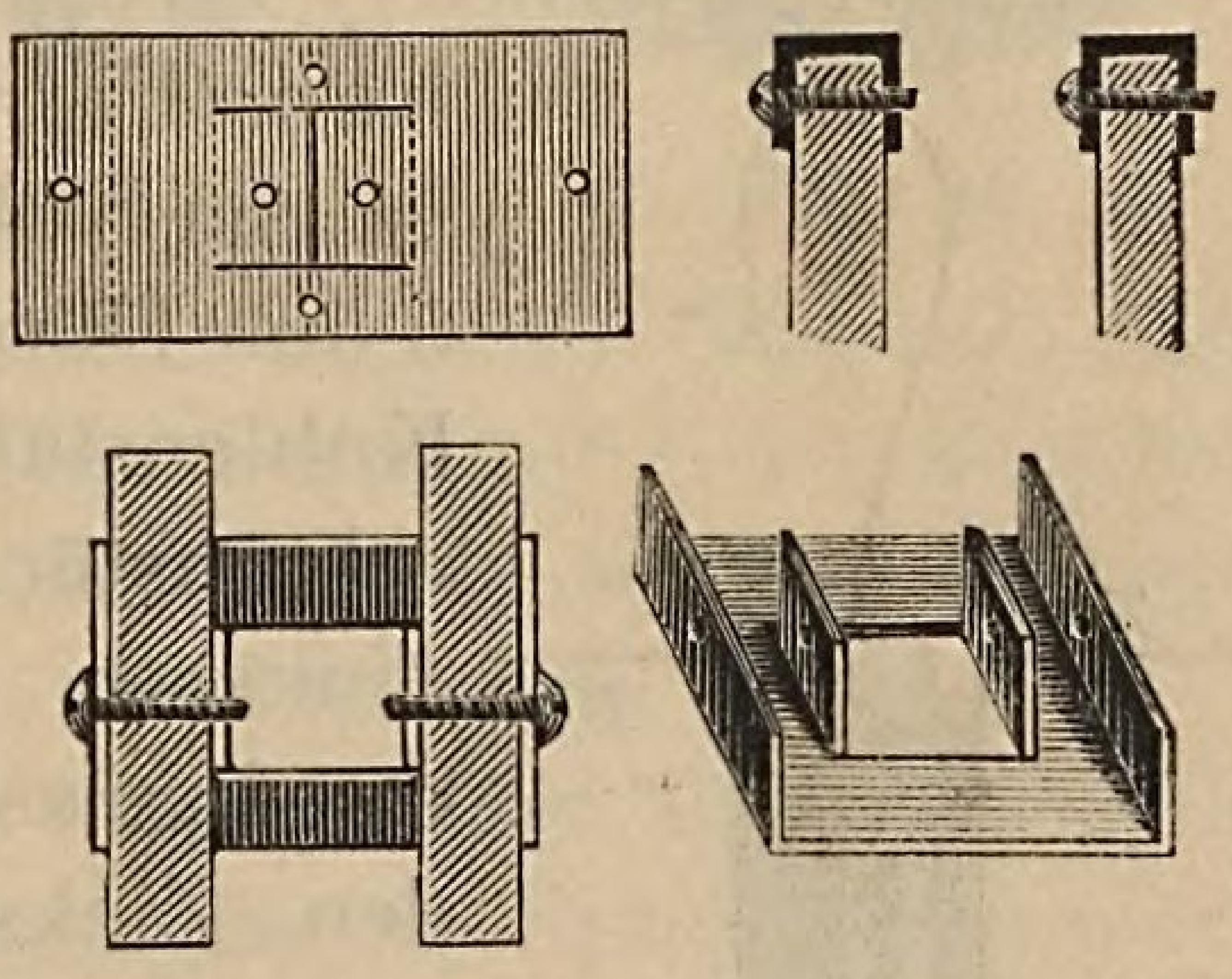


Fig. 36.

nur halb so lang. Ein daran gelöteter Messing- oder Kupferstreifen geht mit starker Reibung durch den Stopfen. Um die Zinkplatte legt man ein schmales, aber dickes Gummiband, damit sie die Kohlen nicht berührt.

Dieses Element ist für Versuche von kurzer Dauer sehr bequem; es liefert einen ziemlich starken Strom mit etwa 2 Volt, verzehrt aber Zink selbst bei offenem Stromkreis und wird während der Arbeit schwächer, weil sich Zinksulfat bildet, welches den Zutritt der Säure zum Zink verhindert, und auch weil die Erregungsflüssigkeit verzehrt wird. Einen andauernderen Strom, aber von geringerer Stärke, liefert eine Lösung von Salmiak in Wasser. Mischungsverhältnis für Füllung mit roher Chromsäure: Wasser 1200 g, Schwefelsäure 300 g, rohe Chromsäure 65 g. — Natriumbichromat 150 g, Schwefelsäure 250 g, Wasser 250 g.

b. Bichromat-Element mit Kohlenstäben. (Fig. 37.) Ein runder Zinkstab ist von Kohlenrundstäben von etwa 5 mm Durchmesser umgeben. Die Kohlenstäbe sind durch Gummiröhrenstücke unter sich und vom Zinkstab getrennt und werden durch elastische Gummibänder um den Zinkstab zusammengehalten. Jede Kohle hat oben einen durch Elektrolyse niedergeschlagenen Kupferüberzug, welche Überzüge durch angelötete Kupferdrähte verbunden sind. A ist ein Poldraht, der, wie B, zugleich als Träger auf dem Glasrande dient. EMK =

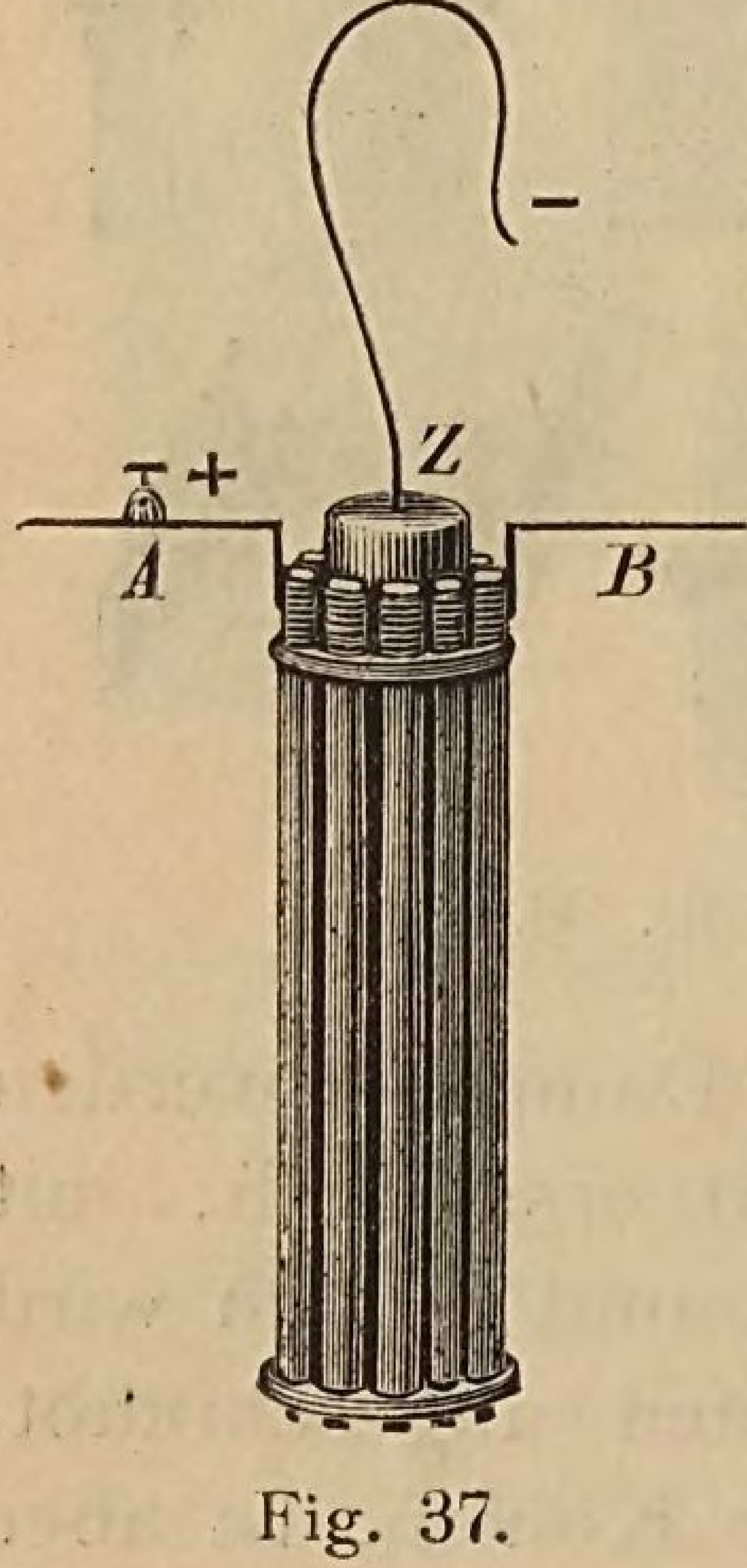


Fig. 37.

2,03 V; innerer Widerstand für 27 cm³ Zinkoberfläche = 0,23 Ohm.

c. Das Bichromat-Element mit Thonzelle (1842) (Fig. 38—40) besteht von aussen nach innen aus irgend einem Gefäss (Glas von 10 cm Weite und 20 cm Höhe), dem Kohlencylinder oder der Kohlenkrone (Fig. 39), in einer Lösung von Kalium-

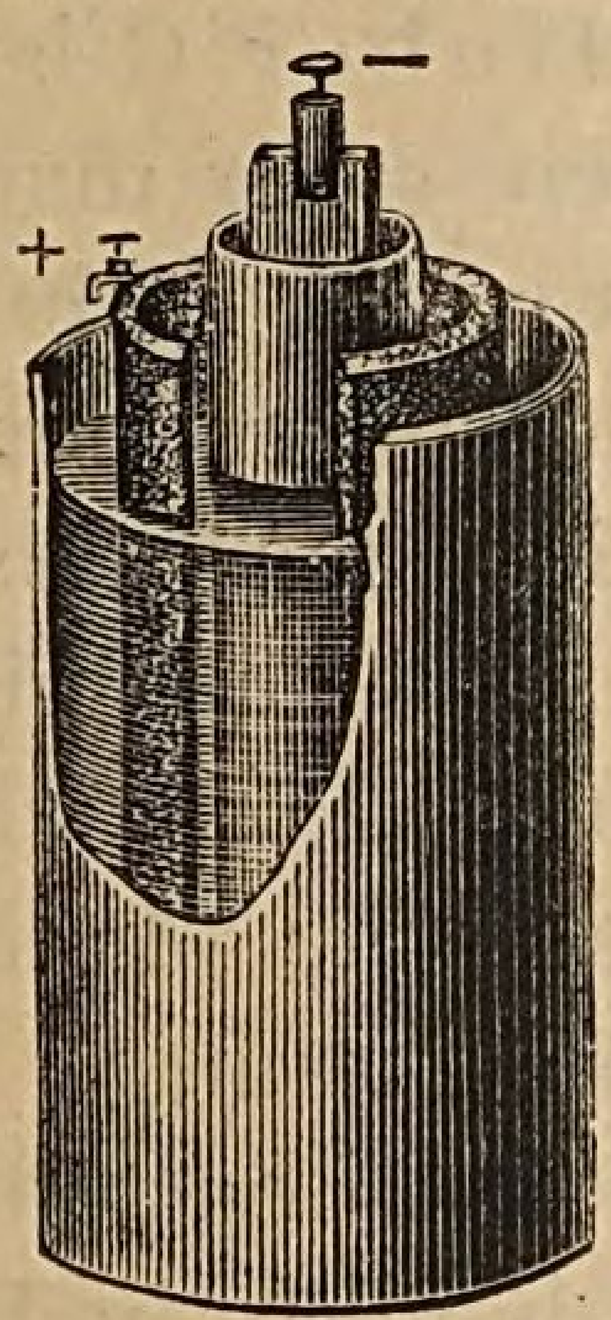


Fig. 38.

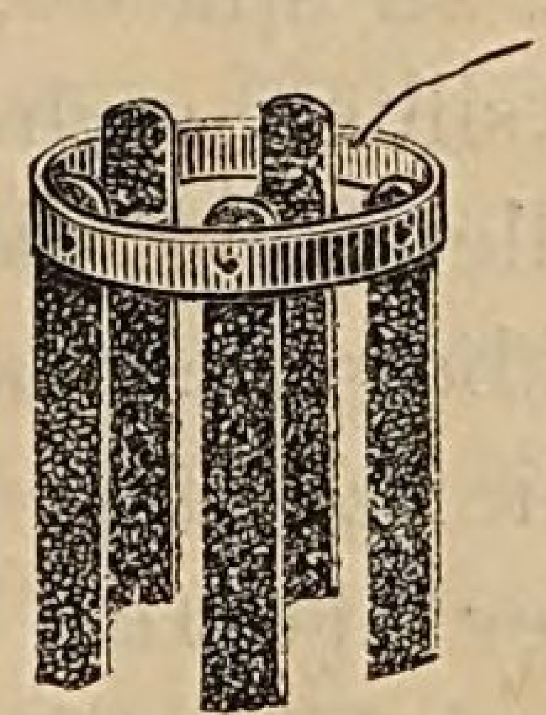


Fig. 39.

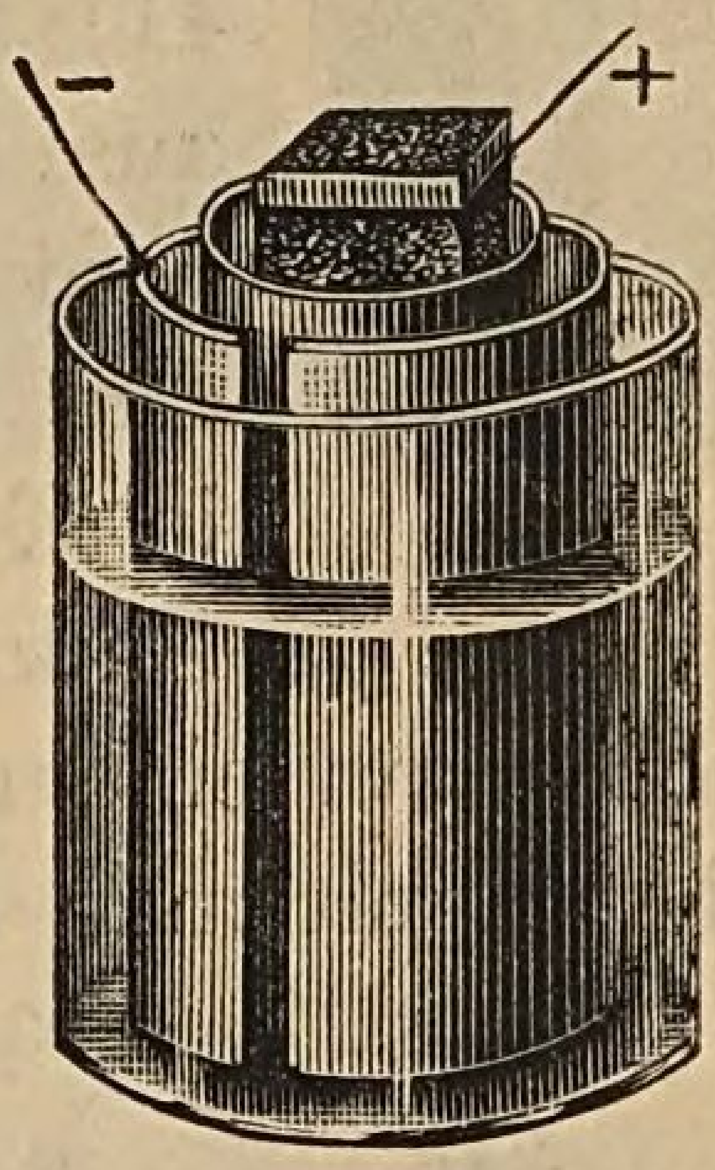


Fig. 40.

und Natriumbichromat-Schwefelsäure-Wasser; der Thonzelle und dem Zink in verdünnter Schwefelsäure; diese Anordnung lässt sich indes auch umkehren (Fig. 40).

Das Zink muss gut amalgamiert sein und steht in Quecksilber; die Thonzelle ist oben paraffiniert.

Die Erregerflüssigkeiten bestehen aus 130 Gewichtsteilen Wasser, 20 T. Bichromat und 50 Teilen Schwefelsäure, und andererseits aus 60 T. Wasser und 48 T. Schwefelsäure oder Kochsalzlösung.

$K_2Cr_2O_7 + H_2SO_4 + H_2O = K_2SO_4 + 2\,H_2CrO_4$.

Ein Element, das um die äussere Kohle mit 130 g Wasser, 20 g Bichromat und 50 g Schwefelsäure und

in der Thonzelle gleich hoch mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt ist, liefert einen Strom von 1,5 Ampère mit einer Spannung von 1,8 Volt. Etwa alle 14 Tage ist die verdünnte Schwefelsäure zu erneuern und das Zink zugleich mit einer harten Bürste zu reinigen; die Bichromat-Lösung it erst dann erschöpft, wenn sie grünlich wird. Einen Heber (Fig. 41) zu diesen Entleerungen stellt man aus einem Glasgefäss mit zwei rechtwinkelig umgebogenen Glasröhren her. Um Zink zu sparen, umgiebt man den in Quecksilber stehenden Zinkstab mit Zinkabfällen, Zinkkugeln; zugleich taucht man eine umgebogene Glasröhre in die Thonzelle, damit man so die Lösung abziehen kann.

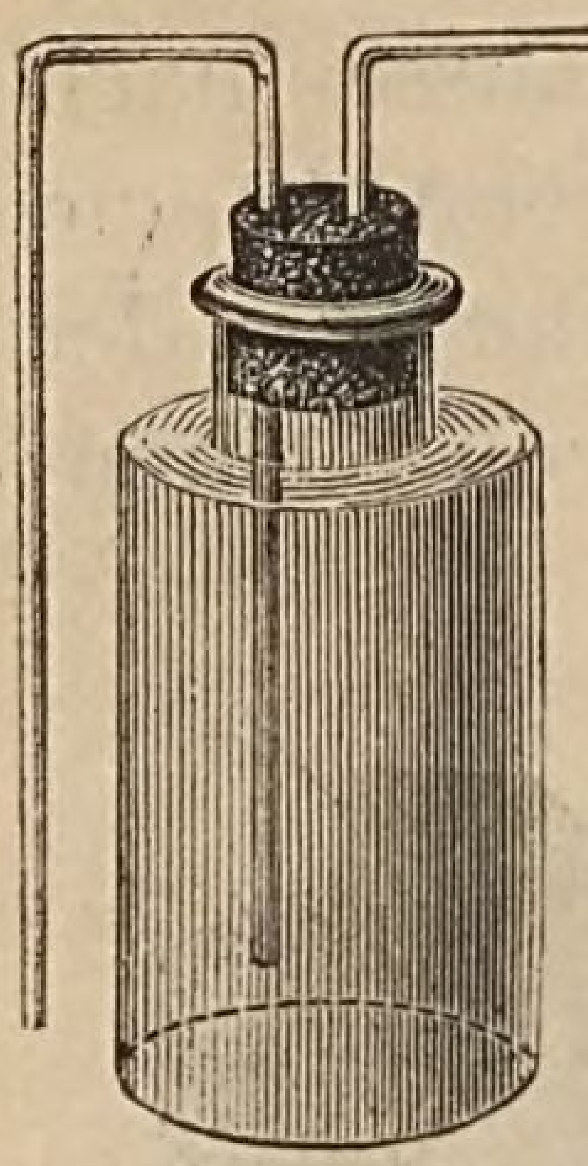


Fig. 41.

Der Heber (Fig. 41 a) besteht aus zwei Glasröhren, wovon A in B eingeschmolzen ist; B ist unten verengt oder mit einem durchbohrten Gummistopfen geschlossen. Bläst man von oben in das durch ein Schlauchstück angesetzte Rohr D. so beginnt A zu fliessen; um den Ausfluss zu unterbrechen, bläst man wieder von oben.

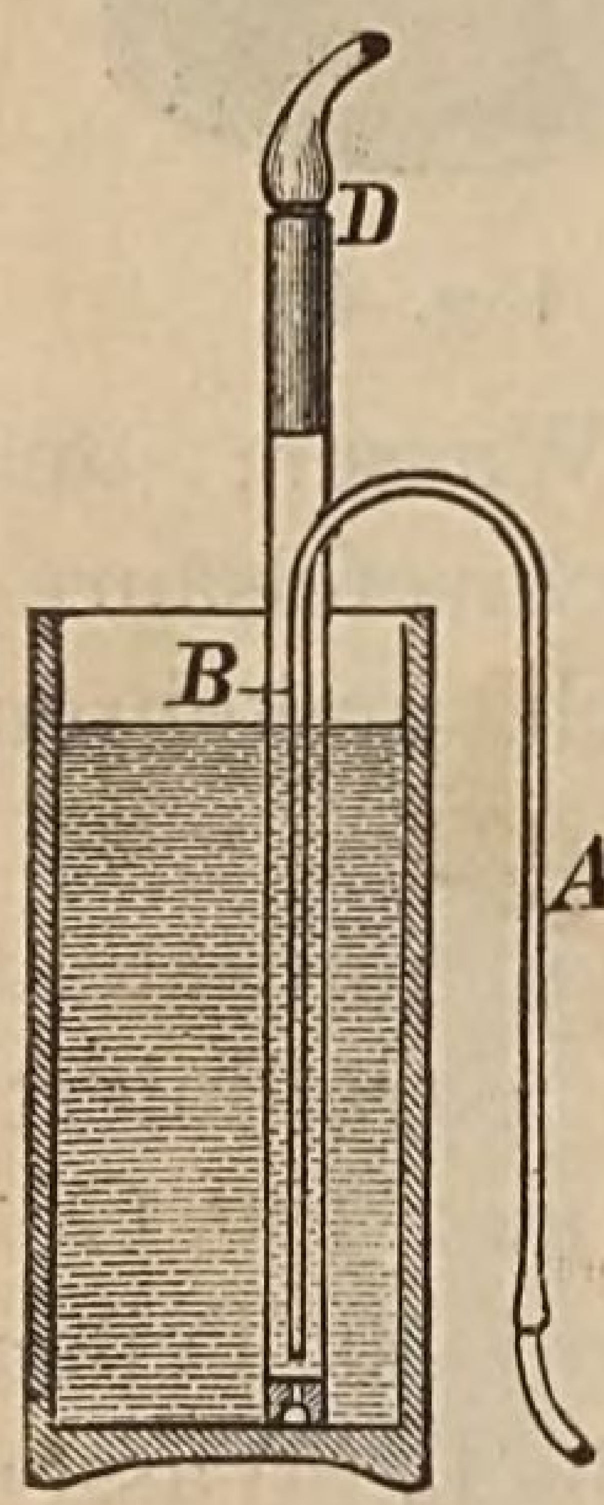


Fig. 41 a.

d. Das Fuller-Element (1871) wird häufig in der Telegraphie in England angewendet. In dem Glasgefäss steht als Zinkzelle ein poröser Thoncylinder. Der Zinkkolben taucht in Quecksilber; im übrigen ist der Thoncylinder mit reinem

Wasser gefüllt. Die Kohle steht in 9 Teilen Wasser und 1 Teil Schwefelsäure, am Boden liegt Bichromat in Kristallen. Die EMK sei gleich der von 2 Daniell, es habe geringen Widerstand und sei von langer Dauer. Ist das Element erschöpft, was sich daran zeigt, dass die Orangefarbe in blaue Färbung übergeht, so wirft man einige Kristalle ein; nimmt die EMK ab, so fehlt es an Schwefelsäure. Das Glas- oder Steingutgefäss, 18 cm hoch, hat einen äusseren Durchmesser von 13 cm und fasst 1,8 l. Der Thonbecher ist 15,5 cm hoch, hat einen äusseren Durchmesser von 6,5 cm und 0,3 cm Wanddicke. Die Kohlenplatte ist 17,5 cm lang, 5 cm breit und 0,8 cm dick und hat ein angepresstes Bleistück mit Schraubenspindel.

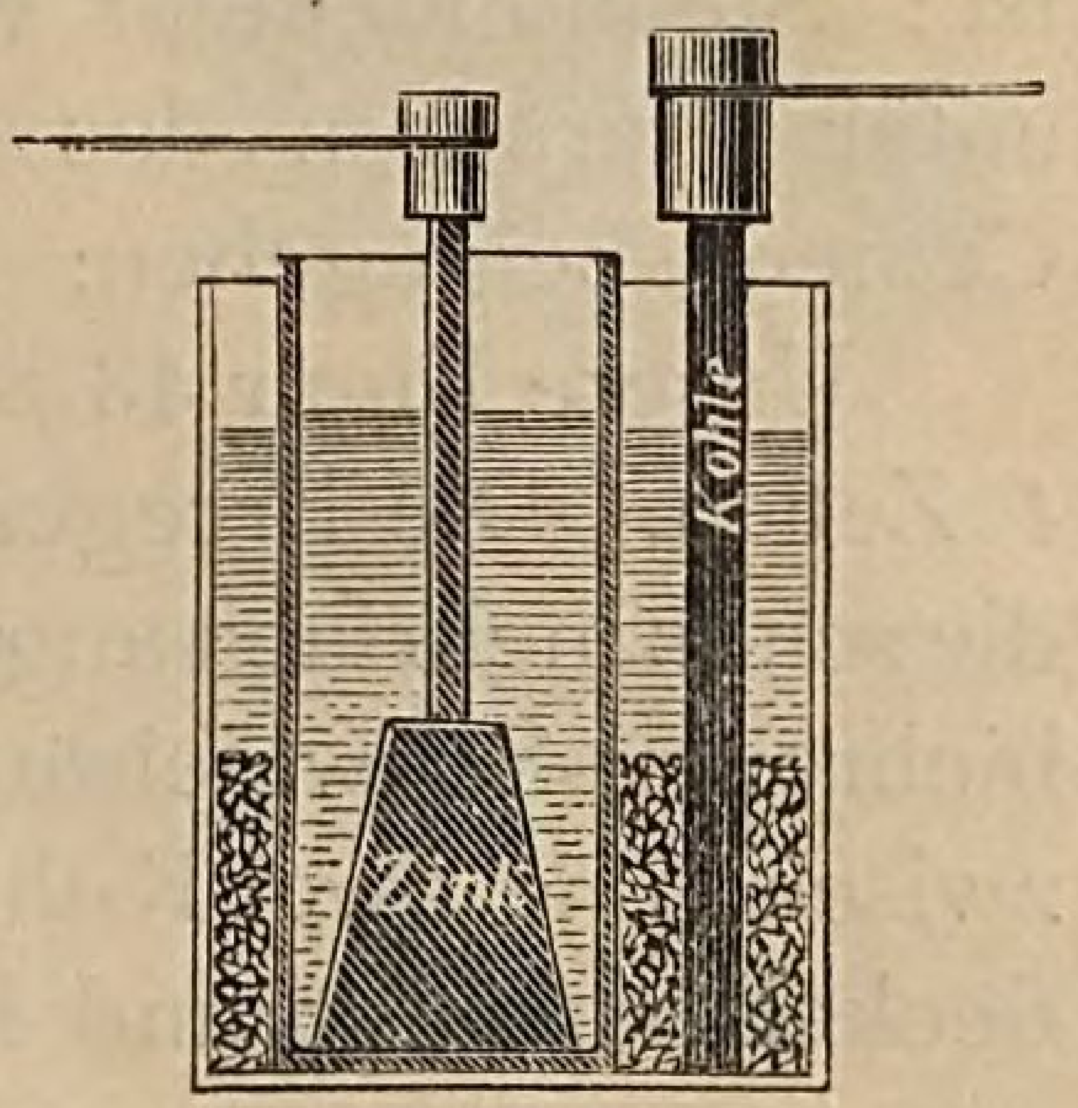


Fig. 42.

Eine Tauchbatterie. Holzgefässe oder Tröge (Fig. 43 u. 44), die zu Tauchbatterien verwendet werden sollen, teilt man durch Querbrettchen in Zellen und überzieht diese mit Paraffin oder Marineleim, die man heiss eingiesst und unter Neigen herausfliessen lässt.

Löcher und Spalten werden mit folgender Mischung verschlossen: Schwefel 100 T., Talg 2 T., Harz 2 T.; man schmilzt bei schwachem Feuer Schwefel und Fett

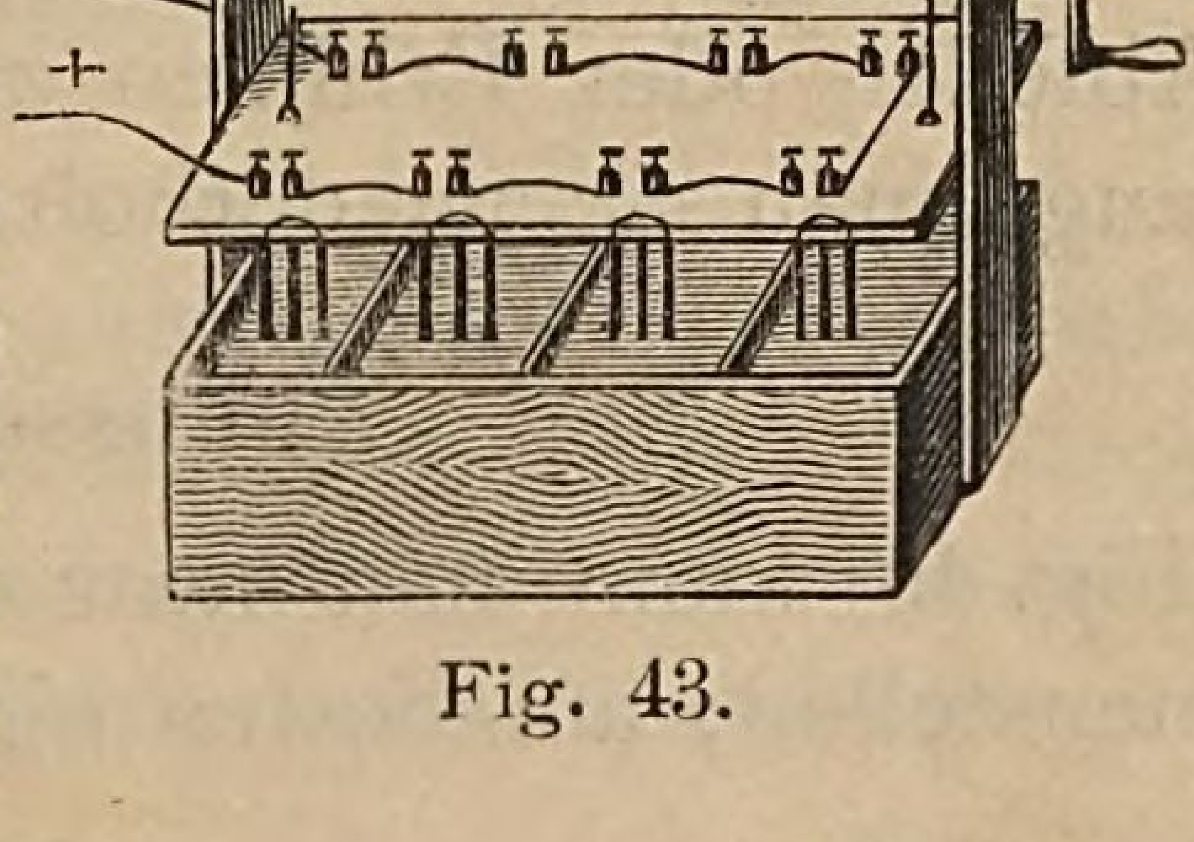


Fig. 43.

zusammen und fügt unter Umrühren das zerstossene Harz und bisweilen noch Sand hinzu.

Ein anderer, den Säuren widerstehender Firnis ist: Steinkohlenteer wird auf 70° C. erwärmt und unter Umrühren das gleiche Gewicht Ätzkalk oder Cement beigegeben; dieser Firnis wird nie spröde.

Unsere Figur 43 zeigt einen gefirnissten Trog mit 4 Zellen. Die Erregerflüssigkeit ist Chromsäure oder die schon mehrfach angegebene Mischung von Natriumbichromat-Schwefelsäure-Wasser. Die Elektroden, Zink zwischen je zwei Kohlenplatten, sind an einen Holzdeckel befestigt und hintereinander verbunden. Der Deckel wird mit Welle u. Schnuren gehoben und gesenkt. Diese sehr bequeme Anordnung liefert auf kurze Zeit starke Ströme. Plattenbreite 8 bis 10 cm, Höhe 20 bis 30 cm. Nach diesen Dimensionen sind die andern zu berechnen. Die Kohlen der Tauchbatterien insbesondere, aber auch die der Bunsen-Elemente, verringern durch längeren Gebrauch ihre Wirksamkeit. Man sucht sie durch Abfeilen oder Erhitzen zu reinigen, am einfachsten laugt man sie wiederholt in warmem Wasser aus.

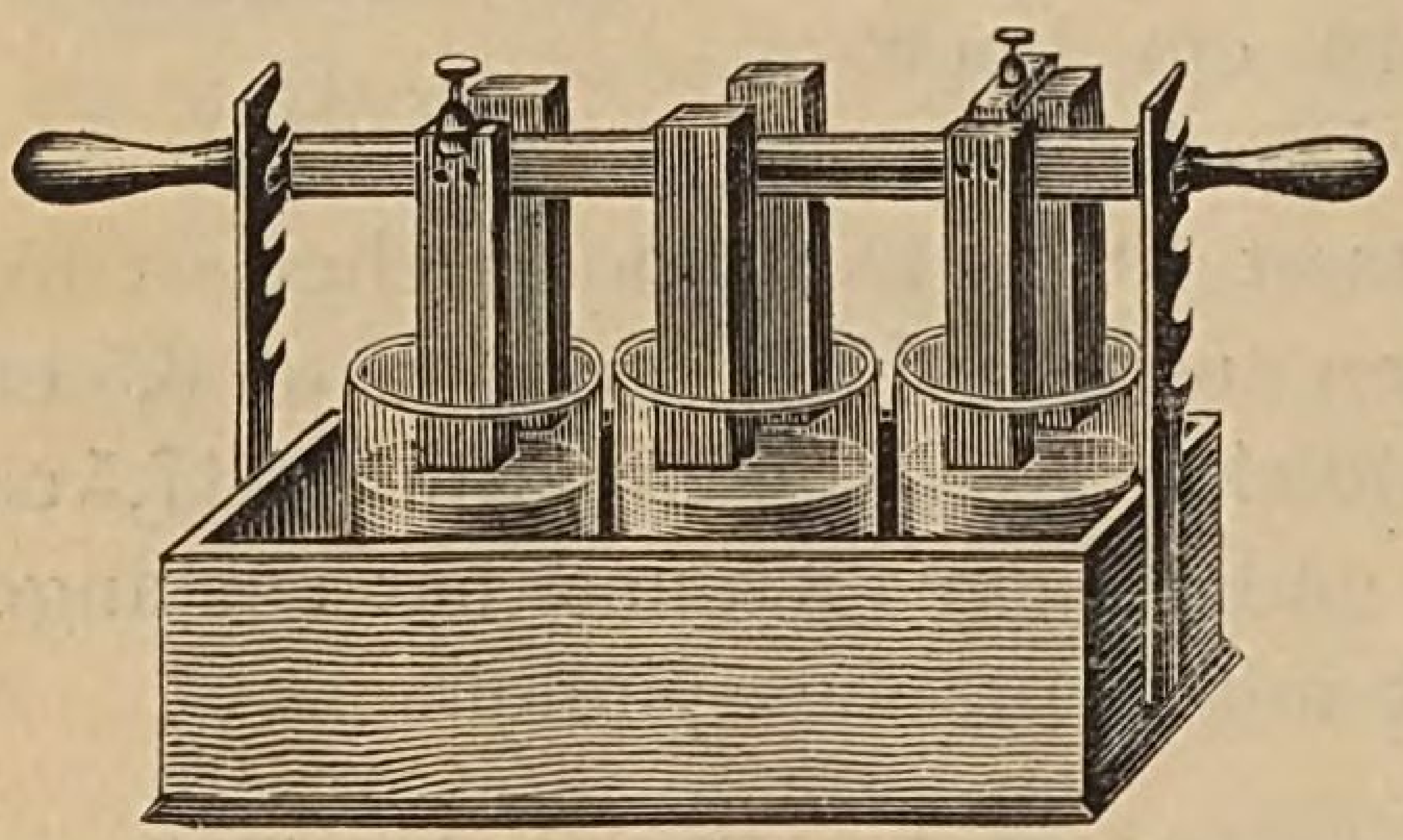


Fig. 44.

Abfluss-Batterien

(Fig. 45) kann man zwar aus allen Elementen zusammenstellen; am besten eignen sich indes Bichromat-

Elemente mit Holzkästen hierzu. Röhren aus Glas, Kautschuk oder Blei führen die Erregungsflüssigkeit vom Boden des obersten Gefässes zur Oberfläche des nächst niedriger stehenden. Man erzielt damit gleichere Dichtigkeit der Lösungen, geringere Polarisation und somit einen konstanteren Strom. Einen nahezu konstanten Strom erreicht man aber nur mit Elementen, die mit Thonzellen versehen sind.

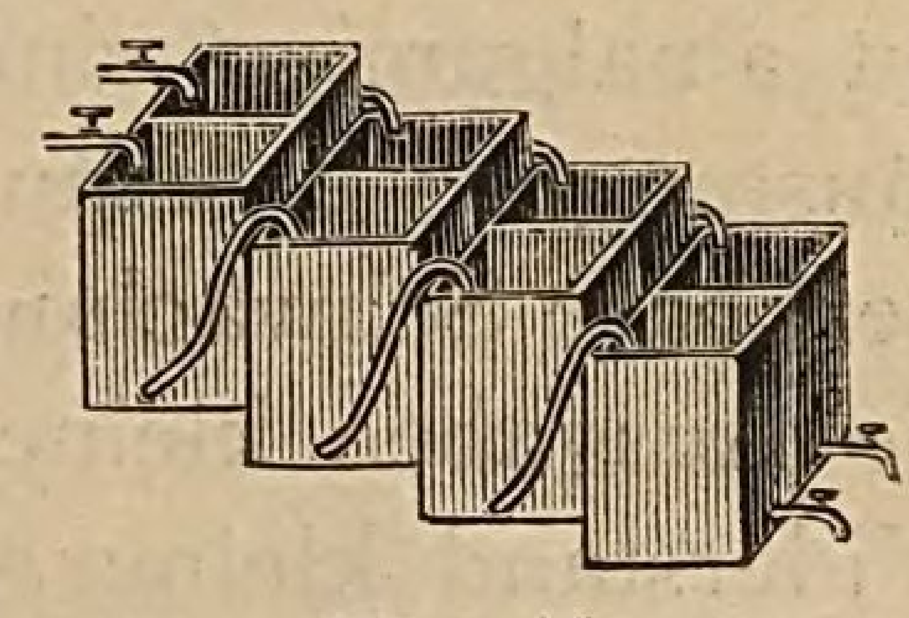


Fig. 45.

Eine Abfluss-Batterie (Fig. 46) dieser Art hat für elektrische Beleuchtung Ph. Hauck angegeben. In ein unten tubuliertes (durchbohrtes, mit Ansatzröhre versehenes) Gefäss wird eine Thonzelle und in diese die Zinkplatte gestellt. Längs der beiden Wände der rechteckigen Thonzelle stehen einander zwei Kohlenplatten gegenüber und der Zwischenraum zwischen Zelle und Glasgefäss ist mit Koksklein ausgefüllt. Von dem Tubus geht ein Rohr zum nächsten Element; ein Glas- oder Ebonithahn gestattet, den Zu- oder Abfluss aus dem Behälter nach Belieben zu regulieren. 12 Elemente, deren Zinke 15 cm breit und 20 cm hoch sind, halten einen 60 cm langen, 1 mm starken Platindraht stundenlang in

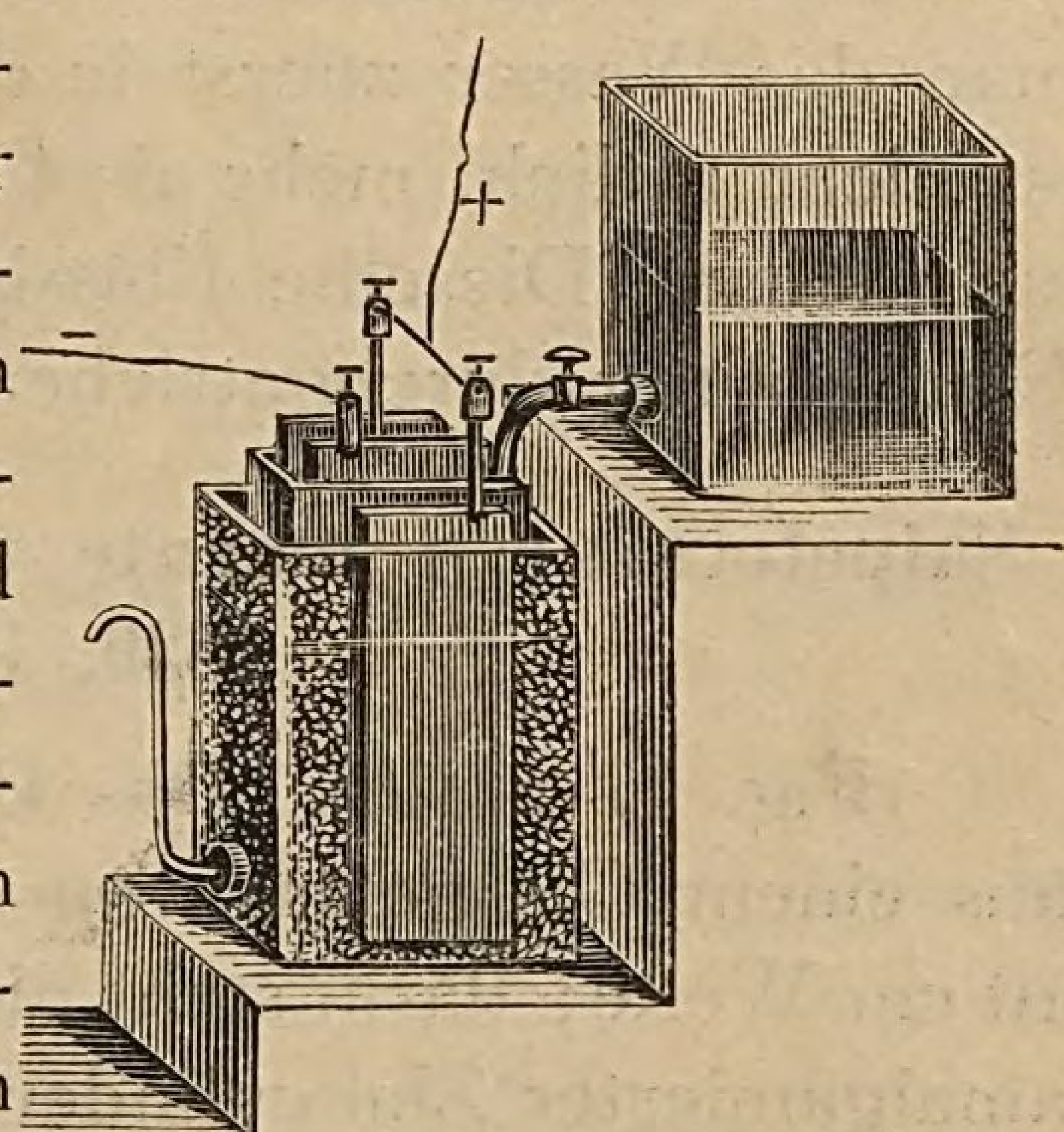


Fig. 46.

Weissglut. Vorteile vor den später zu beschreibenden Salpetersäure-Elementen sind: 1. wenn die Zinke gut amalgamiert sind, erzeugt die Säure keine Ausdünstungen; 2. kann die Batterie an 20 Stunden ohne merkbare Schwächung in Thätigkeit bleiben; 3. sind die Ausgaben kleiner; 4. ist bei dieser Gestalt der Widerstand kleiner.

Zu beachten bleibt aber, dass es notwendig ist, nach Gebrauch der Säure das Chromsäurezufluss-Gefäss durch ein solches, das Wasser enthält, zu ersetzen, wodurch sich ein vollkommenes Auswaschen der Kohlen erzielen lässt, was unerlässlich ist, damit die Poren der Kohlen nicht mit Chromalaun verstopft werden. S. Flaschen-Element!

Die Schwefelsäure wird dadurch entfernt, dass man das Wasser zuerst in die Zellen laufen lässt. Es ist nicht rätlich, mehr als 4 Elemente unter einander zu stellen. Dieselbe Flüssigkeit kann aber bis zur Erschöpfung durchgetrieben werden.

Salpetersäure-Elemente von Grove und Bunsen 1839, 1840.

(Fig. 47 u. 48). Das Bunsen-Element besteht aus einem Glasgefäss von 15 bis 20 cm Höhe und 10 cm Weite; darin steht die negative Elektrode: ein amalgamierter Zinkcylinder in verdünnter Schwefelsäure (1 T. Schwefelsäure, 9 T. Wasser). Der innerhalb des Zinks stehende Thonbecher enthält Salpetersäure und einen Kohlenstab oder nach Grove ein Platinblech. EMK 1,87 bis 1,93 Volt; innerer Widerstand einige Zehntel Ohm.

Die Salpetersäure vermischt man bisweilen mit

der gleichen Menge Salzsäure, oder entwickelt sie aus Salpeter (KNO_3) und Schwefelsäure im Thonbecher selbst; das Element wirkt dann konstanter. Ersetzt man die Salpetersäure durch Bichromat, so erhält man wieder das in Fig. 38—40 abgebildete Element.

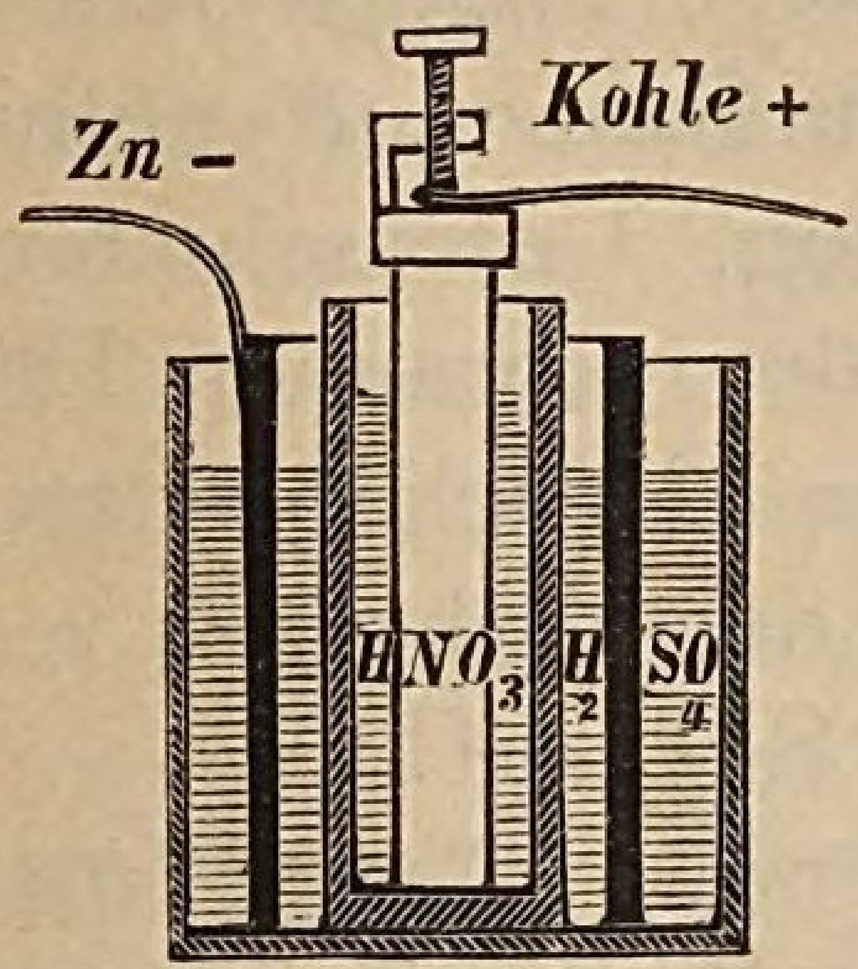


Fig. 47.

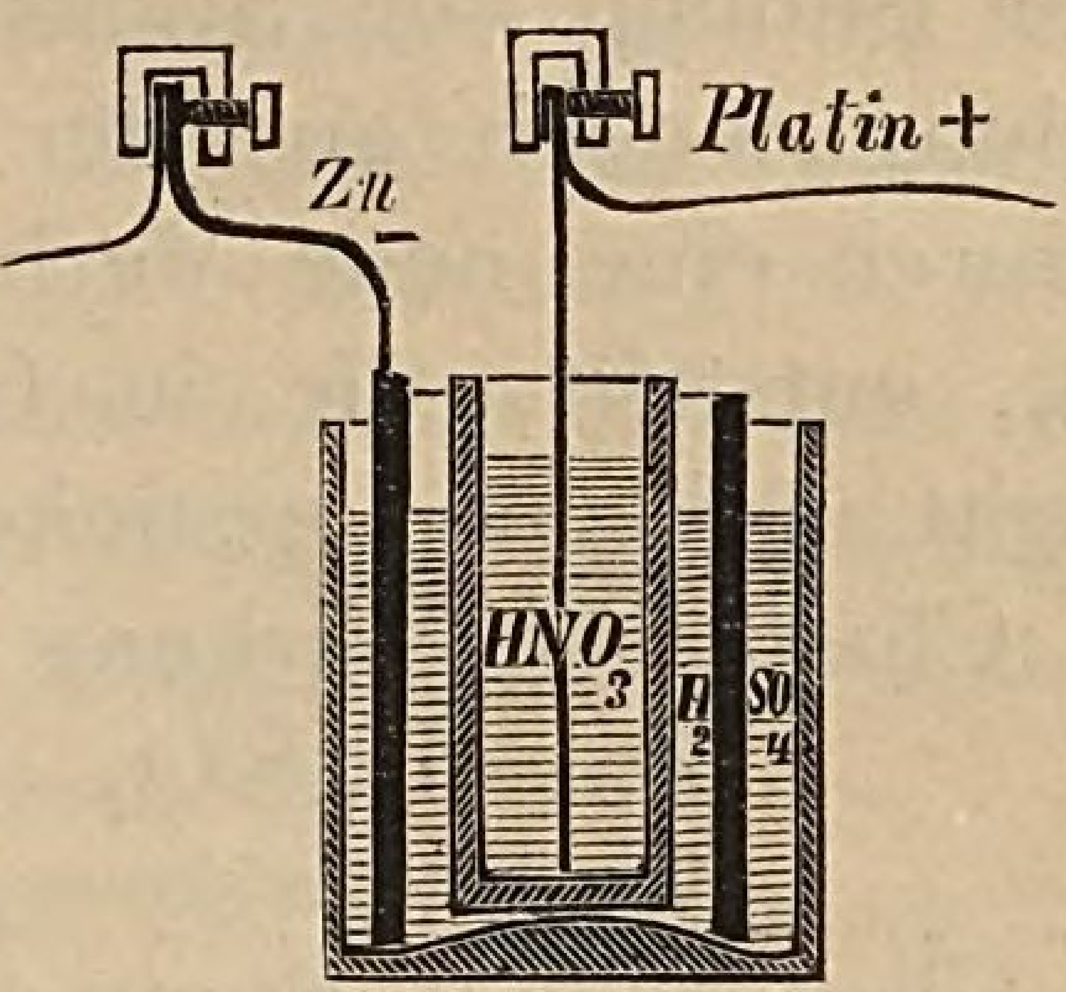


Fig. 48.

Nachteile und Vorzüge der Salpetersäure-Elemente. Aus der Salpetersäure steigen für die Atmungsorgane schädliche Gase auf; die EMK vermindert sich mit der Änderung der Säuren; das Zink wird selbst bei offenem Stromkreis verzehrt, weil die Salpetersäure beständig durch die poröse Zelle sickert. Dennoch sind sie da anzuwenden, wo man starke Ströme von kürzerer Dauer braucht. Vor der Einführung der Dynamomaschinen bediente man sich ihrer zur elektrischen Beleuchtung. Ihre Stärke beruht auf der hohen EMK von ungefähr 1,93 V und dem geringen inneren Widerstand von 0,01 bis 1 Ω, je nach der Grösse und Anordnung. Sie eignen sich insbesondere zum Laden von Accumulatoren.

Chemische Vorgänge. Die Steigerung der EMK entspringt aus dem Auftreten von zwei chemischen Vorgängen: der Auflösung des Zinks und

der Oxydation des ausgeschiedenen Wasserstoffgases durch die Salpetersäure. Diese ist eine Verbindung von Stickstoff N und Sauerstoff O, welche die Eigenschaft besitzt, leicht zu zerfallen, indem sie Sauerstoff abgiebt. Wasserstoffgas verbrennt sie zu Wasser unter Bildung von Stickstoffoxyd NO, welche Verbindung jedoch aus der Luft Sauerstoff aufnimmt, wodurch eine neue Verbindung, Untersalpetersäure NO_2, entsteht, die in Gestalt rotbrauner Dämpfe auftritt und einen erstickenden Geruch besitzt.

Chemische Wirkung auf der Zinkseite:

$$Zn + H_2SO_4 = ZnSO_4 + H_2$$

Zink + Schwefelsäure = Zinksulfat + Wasserstoff (geht weg).

Chemische Wirkung auf der Platin-(Kohlen-)seite:

$$H_2 + 2HNO_3 = 2H_2O + 2NO_2$$

Wasserstoff + 2 Salpetersäure = 2 Wasser + 2 Stickstoffdioxyd (wird frei).

Es wird somit Zink aufgelöst und Wasser $2H_2O$ und Untersalpetersäure NO_2 gebildet. Oder auch:

$$C + HNO_3 + H_2SO_4 + Zn = C + NO_2 + 2H_2O + ZnSO_4$$ (C = Kohle, carbo).

Abänderungen des Bunsen-Elements. a) Der Raum zwischen Glasgefäss und Thonzelle enthält die Elektrode aus Retortenkohle, der übrig bleibende Raum wird mit Koksstücken aufgefüllt und dann der Zwischenraum zwischen Gefäss und Zelle durch eine Pechschicht abgeschlossen, durch welche zwei Glasröhren zum Einfüllen der Salpetersäure und zum Entweichen der Luft hindurchgehen. Nach dem Einfüllen werden die Röhren luftdicht geschlossen. Innerhalb der Zelle befindet sich die Zinkelektrode in einer Lösung von 35 g Quecksilbersulfat (schwefelsaures Quecksilberoxyd) und 35 g 40% Salpeter-

säure in 1 l Wasser. Das Qecksilbersulfat wird zuerst in 330 cm^3 Wasser gerührt, bis die Flüssigkeit eine eigelbe Färbung zeigt. Dann wird unter beständigem Umrühren die Salpetersäure zugesetzt, bis eine klare Flüssigkeit entsteht; in diese wird der Rest des Wassers gegossen. Diese Flüssigkeit kommt in die poröse Zelle, worauf die Zinkelektrode eingesetzt wird, die an dem (Schiefer-) Deckel der Zelle hängt.

b) Man ersetzt die verdünnte Schwefelsäure durch Salmiak- oder Glaubersalzlösung. Die Wirkung ist stärker mit Salmiaklösung, dagegen kostet Glaubersalz vier mal weniger als Salmiak.

Mit Salmiaklösung und Salpetersäure, der $^1/_{10}$ Wasser zugesetzt wird, erhält der Verfasser einen etwa 8 Tage anhaltenden, ziemlich starken Strom.

c) Die Kohlen werden wirksamer gemacht, wenn man sie mit schmalen Streifen von Baumwollsammt in dichten Spiralen umwickelt, die in Chlorplatin getaucht worden sind, und dann bei Luftabschluss nochmals glüht; in der lockeren Kohle ist das gutleitende Platin verteilt.

Füllen und Entleeren einer Batterie; Säuren.

Man stellt die Gefässe in 1 oder 2 Reihen auf, oder im Kreise oder Viereck, je nach dem Raume; versieht jedes Gefäss, ehe man es an seinen Platz stellt, mit Zinkelektrode, Thonzelle, Kohle und Klemmen, welche man sofort mit dem Zink des vorhergehenden Elementes verbindet; aber Klemmen und Verbindungsdrähte dürfen das Füllen nicht hindern. Hierauf beginnt das Einfüllen der Salpetersäure (Chromsäure), das so rasch geschehen muss, dass

alle Zellen gleichmässig durchfeuchtet sind, wenn mit dem Eingiessen der verdünnten Schwefelsäure begonnen wird. Die Säuren füllt man mit Hilfe eines Glaskruges oder Glastrichters ein, auch kann man sich eines Hebers bedienen. Ein Kautschukschlauch trägt an dem einen Ende einen Ansatz aus Glas oder Hartgummi, welcher flach gedrückt sein soll, um ihn leicht zwischen Zink und Gefässwand bringen zu können. Am andern Ende des Schlauchs sitzt ein Gummiansatz, an dem eine starke Bleischeibe befestigt ist, damit das Schlauchende sich auf den Boden des Ausflussgefässes senkt. Dieses wird 1 m höher gestellt als die Elemente. Durch einen Fingerdruck wird das Ausströmen beendigt. Der Schlauch wird, damit man nicht anzusaugen braucht, mit Wasser gefüllt, an beiden Enden zugedrückt, mit der Bleischeibe in das Ausflussgefäss gesenkt und zunächst das ausfliessende Wasser abgelassen. Nach dem Gebrauch wäscht man den Schlauch in Wasser aus, das etwas Ammoniak enthält.

S ä u r e n. Die Salpetersäure kann nochmals gebraucht werden, wenn man etwas frische Säure oder unverdünnte englische Schwefelsäure zusetzt. Diese wirkt wasserentziehend.

Statt Salpetersäure kann man auch englische Schwefelsäure, der $^1/_{20}$ bis $^1/_{10}$ Salpetersäure zugesetzt ist, verwenden.

Verdünnte Schwefelsäure wird bereitet, indem man 8 bis 12 Gewichtsteile englischer Schwefelsäure in dünnem Strahl und unter Umrühren mit Glasstab in 100 Teile Wasser giesst.

Gesetzt, man hätte 60 Elemente mit Säure zu

versehen, so giesst man in ein zusammengestelltes Element Wasser bis zu geeigneter Höhe, nimmt dann Zelle und Zink heraus und macht an dem Glase ein Merkzeichen, gewöhnlich ist es halb voll. Nun giesst man in eine Holzwanne 55 mal die Wassermenge bis zur Marke und 5 mal das Gefäss bis eben dahin mit Schwefelsäure gefüllt.

Das Wolker-Element.

Ein Thonbecher enthält eine Kohlenplatte und ist ausserdem mit einem Gemenge von Kohlen- und Schwefelpulver aufgefüllt und mit einer Teerschicht bedeckt. Der Thonbecher ist von einem Zinkcylinder umgeben, und dieser steht in einer Lösung von Salmiak und Kochsalz oder in verdünnter Salzsäure. Beim Arbeiten des Elements spielt der Schwefel die Rolle des depolarisierenden Materials, indem er sich mit dem entwickelten Wasserstoff zu Schwefelwasserstoff umsetzt. Dieser wirkt auf das durch Lösung von Zink entstandene Chlorzink unter Bildung von Salzsäure, die ihrerseits das frei gewordene Ammoniak zu Chlorammonium regeneriert. Sobald das Salz der Zelle erschöpft ist, beginnt das Entweichen des Schwefelwasserstoffs und bietet ein Kennzeichen für die Zeit der Umfüllung.

Trocken-Elemente.

a. Behrens-Zamboni*)-Säule. (Fig. 12.) Aus unechtem Gold- und Silberpapier werden Scheiben von 1 bis 4 cm Durchmesser gestanzt, so auf-

*) Behrens 1775—1813. Zamboni 1776—1846. Bohnenberger 1815.

einandergelegt, dass dasselbe Metall stets nach derselben Seite gekehrt ist und in eine gefirnisste Glasröhre gebracht; die beiden Endkapseln bilden die Pole. Verwendung zu Elektroskopen und zum elektrischen perpetuum mobile. Anstatt die Scheiben in eine Glasröhre einzuschliessen, kann man sie über ein dünnes Kautschukstäbchen streifen und zusammenpressen.*)

b. Zu Spannungserscheinungen und zu Strömen in sehr hohem Widerstande dienen Glasröhren von etwa 1 cm Weite und 5 cm Länge; sie sind mit Gips gefüllt; die eine Hälfte des Gipses ist mit Zinkvitriol- und die andere mit Kupfervitriollösung getränkt. Zink- und Kupferdrähte, durch die zugehörige Hälfte und Korke gesteckt, bilden die Pole.

c. Gassner's Element. Das cylindrische Zink-Gefäss ist zugleich die negative Elektrode, die hohle Braunstein-Kohle ist in der Mitte isoliert auf eine Glasplatte gestellt und der Zwischenraum durch Gips ausgefüllt, der mit Zinkoxyd vermischt und mit Salmiaklösung gesättigt ist. Höhe 17 cm, Weite 8 cm; EMK 1,5 V, innerer Widerstand 0,25 Ω. Das Element polarisiert weniger schnell als das gewöhnliche Braunstein-Element.

Statt Gips werden auch Gelatine, Sägmehl, Stärkmehl, Asbest, die mit Salmiaklösung getränkt sind, benutzt.

Wenn das Element erschöpft ist, bohrt man Löcher in die Zinkhülle, stellt das Element einige Zeit in gesättigte Salmiaklösung und schliesst die Bohrlöcher

*) Näheres in des Verfassers Spannungs-Elektricität. Faber'sche Buchhandlung. Magdeburg 1893. 4 Mk.

mit Kork oder Holzstückchen, um die man dickflüssigen Schellack trocknen lässt oder setzt man aus dem geöffneten Element ein gewöhnliches Braunstein-Element zusammen.

d. Trocken-Element von Mérésole. Man mischt innig und trocken: Kohle 3 Teile; Graphit 1 T.; Braunstein 3 T.; gelöschten Kalk 1 T.; arsenige Säure 1 T.; Dextrin 1 T.

Dieser fein gepulverten Mischung wird dann zugegeben: eine gesättigte Lösung von Salmiak und Meerwasser, der hinzugefügt sind $^1/_{10}$ einer Lösung von Doppel-Chlorquecksilber und ebenso viel Salzsäure.

Wenn alle Stoffe durch fortgesetzte Mischung zu einem innigen Brei gebracht sind, giesst man diesen in das Glasgefäss, in dem Kohle- und Zinkplatte stehen.

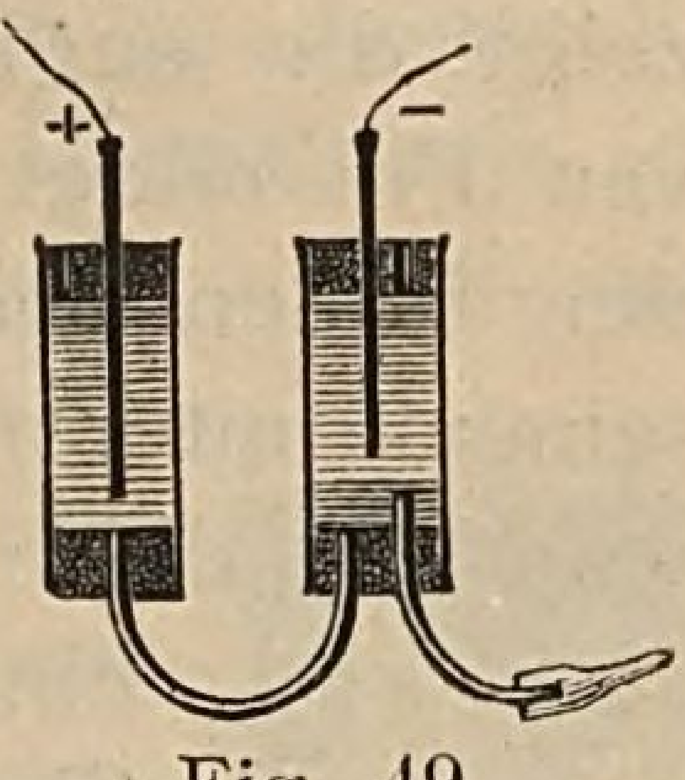
e. Trocken-Element von H. Nehmer. Eine Metallplatte, vorzugsweise Eisen, wird mit einem Lack, in welchem fein gepulverte Kohle enthalten ist, dick bestrichen und dann in einem Ofen getrocknet, so dass die Flächen der Metallplatte in nicht oxydierbare, aber dennoch leitende verwandelt werden. Diese Flächen werden von einer etwa 5 mm dicken, erwärmten Masse aus Kohle, Braunstein, Gelatine und Wasser umgeben. Nach Erkaltung dieser Deporalisationsmasse wird ein etwa 5 mm dickes Kissen einer Mischung von Gelatine, Gips, Wasser und Salmiak dagegen gelegt; an dieses Kissen wird dann ein amalgamiertes Zink gedrückt. Das Ganze wird mit Pergamentpapier umgeben, fest mit Bindfaden zusammengeschnürt und in eine Isoliermasse versenkt.

Normal-Elemente.

a. Das Daniell-Element liefert einen konstanten Strom, aber dieser ist abhängig von der Beschaffenheit der Materialien, die zur Herstellung verwendet werden; die EMK schwankt infolge der Verschiedenheit der Lösungen des Kupfer- und Zinksulfats von ungefähr 1,07 bis 1,14 V. Bei Lösungen von gleicher Dichtigkeit und Platten oder Stäben aus reinem Zink und Kupfer ist die EMK 1,104 V. Dieser Wert wird erhöht mit der Erhöhung der Dichtigkeit der Kupfersulfat-Lösung und vermindert mit der Erhöhung der Dichtigkeit der Zinksulfat-Lösung, wird aber durch die gewöhnlichen Schwankungen der Temperatur kaum beeinflusst. Der Widerstand ändert sich mit dem Querschnitt der Elektroden, mit der Entfernung derselben und mit der Beschaffenheit der porösen Zelle. Bei einer Zelle von 12 cm Höhe beträgt der Widerstand etwa $^1/_3$ Ω, mit kleineren Platten kann er bis 10 Ω steigen. Wenn eine vollkommen konstante Kraft verlangt wird, muss die Thonzelle beseitigt und Zinksulfat verwendet werden. Im Normal-Element sind diese Bedingungen erfüllt.

Ein nicht amalgamierter, aber reiner Zinkstab taucht in eine Lösung von Zinksulfat vom specifischen Gewicht 1,2 und ein reiner Kupferstab (durch Ausscheiden aus Kupfervitriol mit reinem Kupfer überzogen) taucht in eine Lösung von Kupfervitriol vom specifischen Gewicht 1,1. Die EMK dieses Elementes beträgt bei 18° C. 1,075 V; das Element ist aber nur verwendbar bei sehr hohem Widerstand (100,000 Ω).

Zwei Glasröhren (Fig. 49) von etwa 20 cm Länge und 1,5 bis 2 cm Weite sind durch eine gebogene Glasröhre mit Kork- oder Gummistopfen verbunden. Da die Grenzschicht zwischen beiden Lösungen allmählich verschwimmt, so ist durch den einen Kork noch eine enge Glasröhre geschoben, die mit einem Stück Schlauch und einem Quetschhahn geöffnet und geschlossen wird, wenn die verschwommene Grenzschicht abgelassen werden muss. Die Stäbe sind durch Korke geschoben, welche noch eine enge Oeffnung haben. Die EMK bleibt unverändert, ob man die Stäbe mehr oder weniger in ihre Lösungen eintaucht. Die EMK eines Elementes ist somit unabhängig von der Oberfläche der Elektroden; ihre Grösse hängt ausschliesslich von der Natur der Stoffe ab, welche zum Element verwendet werden. Sie ist umso grösser, je grösser der Unterschied der chemischen Verwandtschaft (Affinität) der Flüssigkeiten zu den Elektroden ist, welche den positiven und den negativen Pol bilden. Vergleiche Spannungsreihe!



Eig. 49.

Das Ganze wird an ein senkrechtes Brettchen mit Grundbrett befestigt.

b. Normal-Element der englischen Post-Office. (Fig. 50.) Ein Holzgefäss enthält 3 Gefässe aus Hartgummi. A ist mit Zinkvitriollösung, C mit Kupfervitriollösung gefüllt; B ist das eigentliche Element, es enthält Zinkvitriollösung, den Zinkstab, der in Quecksilber taucht, und die Thonzelle mit



Fig. 50

Kupfervitriolkristallen und dem Kupferstab; auf dem Boden liegt ein Zinkstück, das die unnütz ausgeschiedene Kupfervitriollösung niederschlägt. Nach dem Gebrauch stellt man den Zinkstab in A und die Thonzelle in C. EMK 1,067 V, wenn das Zink rein ist.

c. Normalelement Clark 1874. Fig. 51 zeigt die englische Zusammensetzung. Den positiven Pol bildet ein Platindraht Pt, welcher bis auf den Boden des Gefässes herabreicht; derselbe ist an seinem unteren Ende zu einer flachen Spirale gewunden, diese ist amalgamiert und stand früher in einer Quecksilberschicht Hg; der obere Teil des Platindrahtes ist durch eine Glasröhre vor der Berührung mit dem übrigen Inhalte geschützt. Überdeckt ist die Spirale mit einer Masse, welche bei Zimmertemperatur durch Zusammenreiben von Quecksilberoxydulsulfat mit einem aus Zinksulfatkristallen und konzentrierter Zinksulfatlösung bestehenden Brei gewonnen wird. In diesen Brei taucht auch die negative Elektrode, der amalgamierte Zinkstab, ein; sein oberer Teil ist von konzentrierter Zinksulfatlösung umgeben. Das Gefäss ist durch einen Kork geschlossen, der in geeigneten Bohrungen die beiden Elektroden trägt. Zu besserer Dichtung ist der Kork mit einer harzigen Masse überschüttet, welche sich eng an die Gefässwand legt.



Fig. 51.

In den Amalgamen, welche verschiedene Metalle enthalten, wirkt nur dasjenige Metall elektromotorisch, welches dem positiven Ende der elektromotorischen

Spannungsreihe am nächsten liegt. Daher wird bei diesem Elemente an der positiven Elektrode nur das Quecksilber und an der negativen nur das Zink in Wirksamkeit treten.

Fig. 52 $^1/_2$ bis $^1/_3$ nat. Grösse. Diese Form wird allein bei der Reichsanstalt zur Beglaubigung zugelassen. Als positive Elektrode dient ein amalgamiertes Platinblech, zu welchem ein durch ein Glasrohr geschützter Platindraht führt. Das Platinblech ist von der Quecksilberoxydulpaste umgeben und mit dieser in einer Thonzelle untergebracht. Der Zinkstab ist unten umgebogen, den vertikalen Teil schützt ein Glasrohr, das mit Paraffin ausgegossen ist, vor Berührung mit der Zinksulfatlösung; der horizontale Pol ist amalgamiert und wird von Zinksulfatkristallen überdeckt. Der übrige Inhalt des Gefässes wird durch konzentrierte Zinksulfatlösung ausgefüllt. Der Verschluss ist in ähnlicher Weise wie oben ausgeführt. Kork und Zinksulfatlösung sind durch eine Paraffinschicht getrennt. EMK = 1,4379 V bei 15° C.



Fig. 52.

Das Element kann nur bei sehr hohem Widerstand oder zu Spannungserscheinungen verwendet werden.

Der Widerstand eines galvanischen Elementes

setzt sich zusammen aus 1) dem Widerstand der beiden Elektroden: Zink-, Kupfer- oder Kohlenplatten; 2) dem Widerstand der Flüssigkeit oder Flüssigkeiten desselben; 3) dem Widerstand der Thonzelle, falls eine solche vorhanden ist. Diese 3 Widerstände bilden zusammen den w e s e n t l i c h e n Widerstand des Stromkreises.

Der Widerstand desselben Elementes ist sehr verschieden 1) je nachdem die Elektroden mehr oder weniger weit von einander entfernt sind; 2) je nach der Konzentration der Flüssigkeiten; 3) je nach der Grösse der Elektroden; mit der Vergrösserung der negativen Elektrode vermindert sich der Widerstand. — Der Widerstand ändert sich während des Stromschlusses; er wird grösser infolge der chemischen Veränderungen im Element.

Tabelle

über die EMKe und Widerstände einiger Elemente.

Element	Zusammensetzung — Pol	Zusammensetzung + Pol	Spannung in Volt	Widerst. in Ohm
1. Daniell	amalgam. Zink 1 Schwefels. 12 Wasser.	Kupfer, Kupfersulfat	0,94 — 1,07	1/2—4
2. Normal — Elem. engl.	Zink, Zinksulfat	Kupfer, Kupfersulfat	1,067	1—3
3. Minotto	Sand-E. Zink, Schwefels. und Wasser	Kupfer, Kupfersulfat	0,9	5—11
4. Callaud-Krüger	Zink, Schwefels. und Wasser	Kupfer, Kupfersulfat	0,99—1	1—7
5. Lalande-Chaperon	Zink, Kalilösg.	Kupfer, Kupferoxyd	0,99	1,3
6. Leclanché	Zink, Salmiaklösung	Kohle mit Braunstein	1,49	0,6—1,0
7. Gassner	Zink, Zinkoxydlösung	Kohle mit Braunstein	1,47	0,25
8. Bunsen-Grove	amalgam. Zink, 1 Schwefels., 12 Wasser	Kohle-Platin, Salpeters.	1,83 1,96	0,2 0,7
9. Meidinger Ballon	Zink in Bittersalzlösung	Kupfer, Kupfersulfat	0,9	9,9

Anwendung dieser Tabelle zur Berechnung von Stromstärken.

1) Ein Bunsen-Element mit amalgamiertem Zink in der Höhe von 20 cm und in einer Lösung von Schwefelsäure zu $^1/_{20}$ des Volumens und mit Kohle in starker Salpetersäure hat einen Widerstand von 0,08 bis 0,11 Ohm (Ω) und eine elektrom. Kraft von ungefähr 1,8 Volt. Wie gross ist seine Stromstärke?

$$J = \frac{E}{R}; \quad J = \frac{1{,}8}{0{,}1} = 18 \text{ Amp.}$$

2) Ein Daniell-Element mit äusserem Zinkcylinder von 19 cm Höhe und 9 cm Durchmesser, geladen mit Zinksulfat und geschlossen mit einem Draht von unbedeutendem Widerstand, hat eine EMK von 1,1 V und 0,8 Ω Widerstand. Wie gross ist seine Stromstärke?

$$J = \frac{1{,}1}{0{,}8} = 1{,}37 \text{ Amp.}$$

3) Ein Telegraphier-Element hat eine EMK = 0,95 V und einen Widerstand = 9,5 Ω. Wie gross ist seine Stromstärke?

$$J = \frac{0{,}95}{9{,}5} = 0{,}1 \text{ Amp.}$$

4) Ein Morseapparat mit einem Elektromagneten von 608 Ω Widerstand arbeitet gut in einem lokalen Stromkreise mit 4 solcher Elemente. Welche Stromstärke verlangt er?

$$J = \frac{4 \cdot 0{,}95}{608} = 6 \text{ Milliamp.}$$

Für telegraphische Übermittelungen gebraucht man Ströme von 16 bis 18 Milliamp.; für medizinische Zwecke Ströme 2 bis 20 Milliamp. (Milliamp. = Tausendstelamp.)

Verwendbarkeit einiger Elemente.

1) Zur Galvanoplastik, Darstellung von Kupfermodellen IV: Daniell, Bunsen, Lalande, Bichromat mit zwei Flüssigkeiten.
2) Galvanostegie, Niederschlag von Metallen auf Metalle IV: Daniell, Bunsen, Lalande.
3) Ladung von Accumulatoren II: Bunsen, Bichromat mit Abfluss, Callaud-Krüger.
4) Induktorien X: Flaschen-Element, Bunsen.
5) Versuche im Laboratorium III: Flaschen-Element, Trogbatterie, Bunsen, Leclanché, Daniell.
6) Elektrotherapie (in Medizin): Flaschen-Element, Bunsen.
7) Telegraphie, Läutwerke, Telephonie IX, XII: Braunstein-Elemente, Gassner, Lalande.
8) Betrieb kleiner Motoren XIII: Bichromat, Bunsen, Lalande.
9) Elektrische Messungen III, XV: Normal-Elemente.
10) Für transportable Apparate: Trocken-Elemente, Marié-Davy.

Einteilung der galvanischen Elemente nach den Deporalisationsmitteln.

a. Elemente mit einer Flüssigkeit:

1) Ohne Deporalisation: Volta-Säule; Wollaston;
2) Mechanische Deporalisation: Rotierende Elektroden.
3) Deporalisierende Flüssigkeit: Bichromat-Elemente.
4) Deporalisierender fester Körper: Braunstein, Kupferoxydätzkali, Schwefel, Quecksilberoxyd.

b. Elemente mit zwei Flüssigkeiten; elektrochemische Deporalisation:
 1) Salpetersäure: Bunsen, Grove.
 2) Salzlösungen: Daniell und Abänderungen: Callaud-Krüger, Meidinger.

Eigenschaften eines guten Elementes; Störungen.

Von einem guten Element wird verlangt:

1) eine hohe und konstante EMK;
2) ein innerer (wesentlicher) kleiner und konstanter Widerstand;
3) Wohlfeilheit, d. h. geringer Materialverbrauch;
4) keine Abnutzung bei offenem Strom;
5) leichte Herstellung, Unterhaltung, Überwachung und ohne schädlicheDämpfe-Entwickelung.

Die EMK einer Batterie ist von dem Material der Elemente abhängig, sowie von der Anzahl der verbundenen Elemente. Der innere Widerstand lässt sich dadurch vermindern, dass man grosse Platten wählt und diese nahe einander gegenüber stellt, und ferner ist eine gut leitende Flüssigkeit zu verwenden.

Gäbe es ein Element, das allen diesen Anforderungen genügte, so wären alle anderen überflüssig; ein solches giebt es nicht und deshalb hat man für die beabsichtigten Zwecke auszuwählen. (Siehe Tabelle über EMKe und Verwendbarkeit.)

Es kommt bisweilen vor, dass man von einem Element die erwarteten Wirkungen nicht erzielt. Die Ursachen davon können folgende sein:

1) Die Lösungen sind erschöpft oder deren Materialien unrein oder nicht im richtigen Verhältnis zusammengesetzt;

2) die Berührungen der Metalle nicht blank, vor den Verbindungen nicht rein geschabt, die Leitungsdrähte in den Hüllen zerbrochen, die Schrauben nicht gut angezogen, die blanken Leitungsdrähte berühren sich;
3) einzelne Elemente der Batterie sind teilweise leer;
4) Metalle ausgeschieden, wodurch zwischen den Elektroden „Kurzschlüsse" entstehen, z. B. bei Daniell-Elementen die Thonzelle mit Kupfer durchzogen, oder auch die Zinke zerbrochen;
5) die Kohlen mit Salzen angefüllt; darum Auslaugen mit warmem Wasser.

Durch Schütteln, Bewegen der Elektroden und Erwärmen des Elementes kann man die Stärke desselben auf einige Zeit wieder erhöhen, weil sich so Gasblasen loslösen und durch Erwärmen die chemische Thätigkeit verstärkt wird.

Material-Verbrauch einiger Elemente für eine Pferdekraft- und eine Kilowattstunde.

I. Daniell-Elemente mit 1,08 Volt EMK von 2,5 Ω Widerstand für ein grosses Modell: Zink 0,785 kg (das Kilo zu 40 ₰) 32 ₰; Kupfersulfat das vierfache Gewicht des Zinkes (1 kg zu 80 ₰) 2 ℳ 52 ₰; Schwefelsäure (1 kg 12 ₰) 24 ₰; zusammen 3 ℳ 8 ₰. Man muss aber den doppelten Preis nehmen, also 6 ℳ 14 ₰.

Bunsen-Element mit einer EMK von 1,8 Volt: Zink 496 g mit 20 ₰; Schwefelsäure 12 ₰; Salpetersäure 40 ₰; zusammen 72 ₰; das doppelte 1 ℳ 14 ₰.

Beim Bichromat-Element etwas billiger als beim Daniell-Element; aber beim Ätzkali-Element auf 3 ℳ 88 ₰, oder vielmehr auf 7 ℳ 76 ₰.

Die Berechnung zeigt, warum man den Bunsen-Elementen trotz mancher Unannehmlichkeiten in vielen Fällen den Vorzug vor Daniell-, Bichromat- und Ätzkali-Elementen giebt.

II. Zinkverbrauch. Wenn ein galvanisches Element 1000 Ampère-Stunden erzeugt, so verzehrt es 1213,3 g Zink; wegen Nebenwirkungen und Abfällen wird man 1500 g nehmen müssen.

Ist E_p die mittlere nützliche Spannung, die während der Arbeit eines galvanischen Elementes vorhanden ist, so ist der Zinkverbrauch M für 1 Kilowatt-Stunde oder 1000 V-A.

$$M = \frac{1500}{E_p} \text{ g.}$$

Rechnet man in einem Element, bestehend aus Zink, angesäuertem Wasser und Kupfer, 6 Ampère auf 1 dm^2 Zinkoberfläche, so verzehrt es theoretisch in 1 Kilowatt-Stunde 2244 g Zink, in der That aber 2500 g und 6 kg Schwefelsäure, wobei E_p 0,5 V. beträgt und die Schwefelsäure auf die Hälfte erschöpft wird.

In den Kupfervitriol-Elementen werden in 1 Kilowatt-Stunde 2 kg Kupfer ausgeschieden und nahezu ebenso viel Zink verzehrt.

In den Bichromat-Elementen mit zwei Flüssigkeiten kann man von 1 kg doppeltchromsaurem Natron (Kali) 400 Ampère-Stunden erhalten, was einem Verbrauch von 2,5 g für 1 Ampère-Stunde und für das Zink von 1,26 g entspricht.

Im allgemeinen wird man auf einen Verbrauch von 5 g Natronbichromat 1,3 g Zinkverbrauch rechnen. Erzielt man 70 bis 75 % Nutzen, so werden in 1 Kilowatt-Stunde 2 kg Bichromat und 870 g Zink verzehrt.

Elektromotorische Kraft bei offenem und bei geschlossenem Stromkreis. Spannungsverlust.

Bei einem galvanischen Strome sind, wie wir schon gefunden haben, drei Einheiten zu berücksichtigen:

1) die EMK E in Volt ausgedrückt;
2) der innere Widerstand R_i in Ohm ausgedrückt; diese zwei Einheiten heissen die K o n s t a n t e n d e s E l e m e n t s und wechseln mit der Beschaffenheit und Grösse derselben, und
3) der äussere Widerstand R_a oder der Widerstand im Leitungsdraht, längs welchem der Strom Arbeit verrichten soll.

Diese Einheiten sind durch das G e s e t z O h m's verbunden:

$$J = \frac{E}{R};\ 1\ \text{Ampère} = \frac{1\ \text{Volt}}{1\ \text{Ohm}};\ J \cdot R = E;\ R = \frac{E}{J}.$$

Für ein e i n z e l n e s E l e m e n t ist demnach die Stromstärke in Ampère $J = \frac{R}{R_i + R_a}$.

B e i s p i e l e:

1) Ein Element habe die EMK = 1,5 Volt und einen inneren Widerstand von 0,1 Ohm (Ω), so ist seine Stromstärke, wenn der äussere Widerstand R_a vernachlässigt werden kann, d. h. wenn seine Elektroden durch einen Kupferblechstreifen verbunden sind, $J = \frac{1,5}{0,1} = 15$. Wird $R_i = 2\ \Omega$, so ist

$$J = \frac{1,5}{2} = 0,75.$$

2) Wird in das letztere Element von 1,5 V und 2 Ω ein äusserer Widerstand R_a von 10 Ω eingeschaltet, so ist $J = \frac{1,5}{2 + 10} = 0,125$ oder $=$ 125 Milliamp. Wird aber $R_a = 100\ \Omega$, so ist $J = \frac{1,5}{2 + 100} = 0,0147 = 14,7$ Milliamp.

Entzieht man daher einem Element einen starken Strom, so wird natürlich seine innere chemische Thätigkeit weit grösser, als wenn man einen schwachen Strom entnimmt; es entwickeln sich dann an den Elektroden reichlichere Gasblasen und daraus folgt eine rasche Polarisation. Man hat darum, wenn man von einem Element starke Ströme verlangt, für sehr wirksame Depolarisationsmittel zu sorgen, wie dies in den Salpetersäure-Elementen geschieht.

Folgerungen. In Beispiel 2 haben wir $R_a =$ 10 Ω angenommen; die EMK von 1,0 V muss daher 0,125 Amp. durch den ganzen Stromkreis treiben und also wird ein Teil der EMK darauf verwendet, diese 0,125 Amp. durch das Element selbst zu treiben und da dieses 2 Ω Widerstand besitzt, so ist die zugehörige EMK $= R \cdot J = 2 \cdot 0,125 = 0,25$ V. Es wird somit $\frac{1}{4}$ V darauf verwendet, den R_i zu überwinden, und es bleiben noch 1,25 V Klemmenspannung für den äusseren Kreis R_a.

Graphische Darstellung der Folgerung. In Fig. 52_a stellt AO die EMK des Elementes dar und die rechtwinklig daraufstehende OB die Widerstände $R_i + R_i = 2 + 10$ Ohm dar; dann zeigt

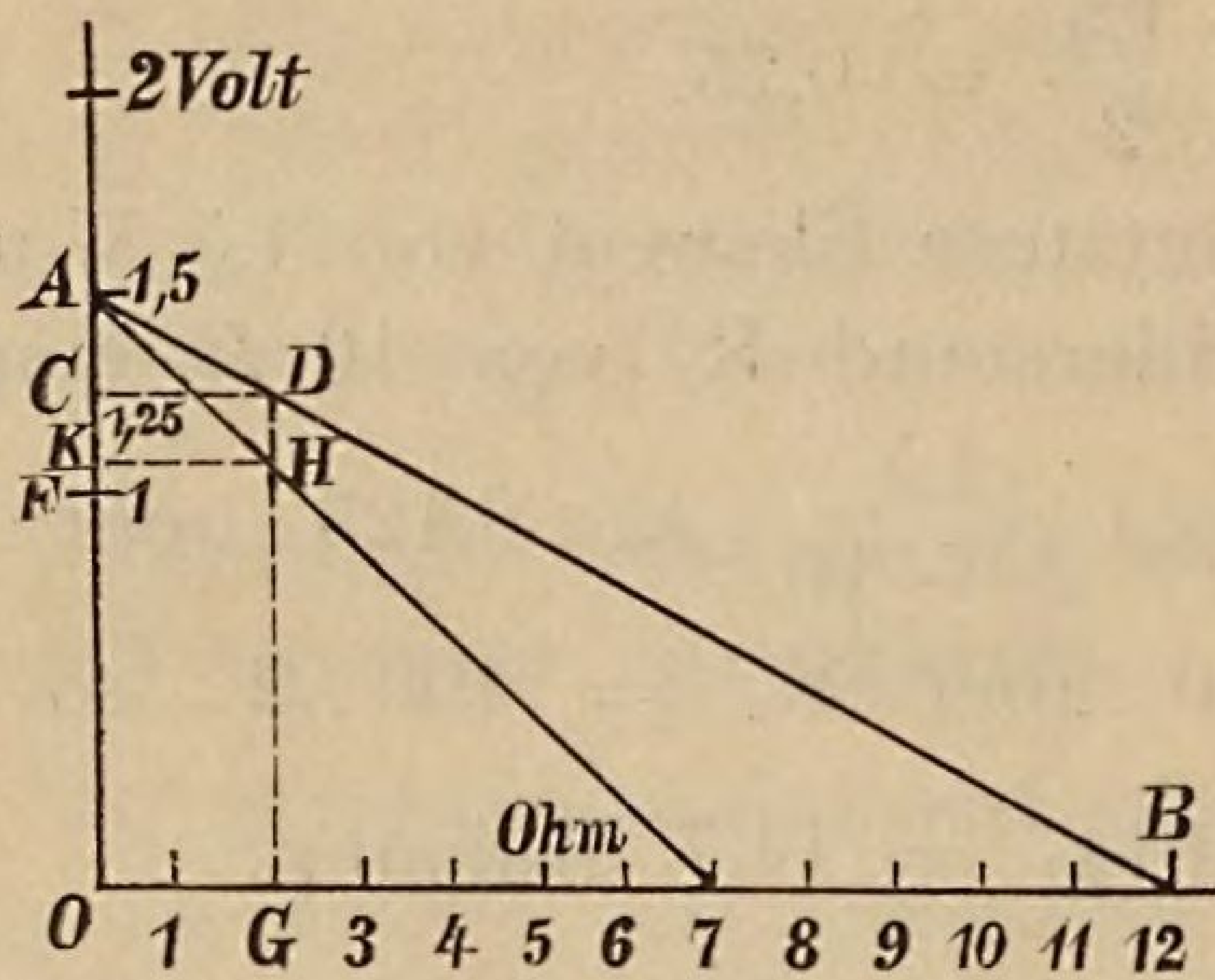


Fig. 52a.

AB den Spannungsabfall für diese Widerstände an. Ist GD senkrecht auf OB, wobei OG = 2 = R_i, so entspricht GD der Klemmenspannung. Nun ist △ AOB ∾ △ DGB, daher

$$AO : OB = GD : GB,$$

$$1,5 : 12 = X : 10, \text{ woraus}$$

$$X = \frac{1,5 \cdot 10}{12} = 1^1/_4 \text{ Volt.}$$

Zieht man DC parallel zu BO, so ist auch OC = $1^1/_4$ V und CA = $^1/_4$ V. Zieht man A7, so dass R_a = 5 Ohm, so fällt die Klemmenspannung auf GH, die aus der Ähnlichkeit der △△ AO7 und HG7 berechnet wird.

Für den weniger starken Strom von 0,0147 Amp. wird zur Überwindung von R_i eine EMK verbraucht = 2 · 0,0147 = 0,0294 (rund 0,03) V. Somit ist die Klemmenspannung für R_a noch 1,5 — 0,03 = 1,47 Volt.

Die Klemmenspannung eines Elementes wächst also in dem Maasse, als die Stromstärke kleiner wird und sie ist um den inneren Spannungsverlust kleiner als die EMK und dieser Spannungsverlust ist = Stromstärke mal innerem Widerstand;

$$e = E - J \cdot R_i.$$

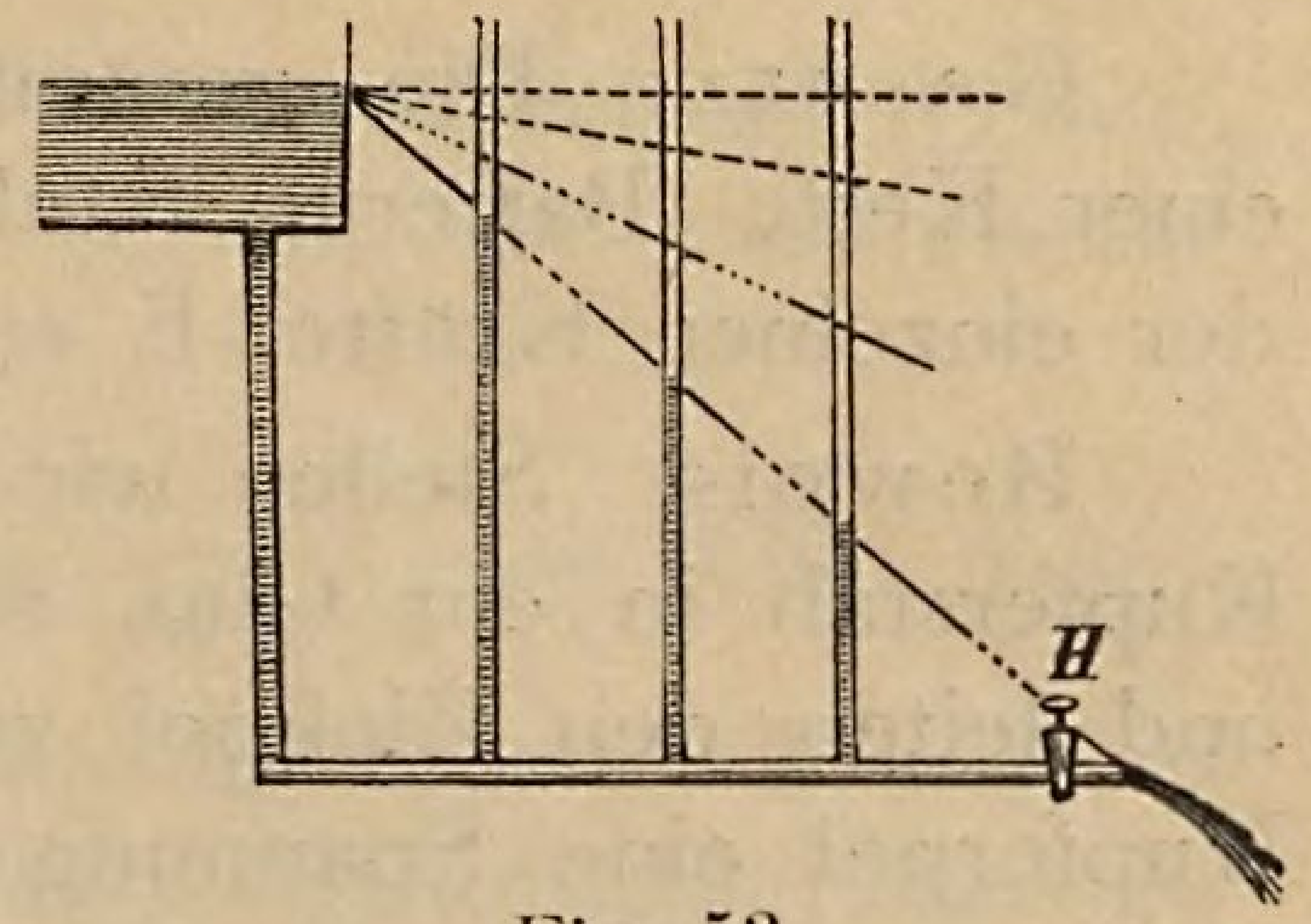


Fig. 53.

Analogie. Schliessen wir den Hahn H (Fig. 53) ganz, so steigt das Wasser in den Manometerröhren so hoch als im Wasserbehälter; die aquamotorische Kraft ist überall dieselbe, wie die EMK in einem geschlossenen Elemente. Öffnen wir indes den Hahn nur wenig, so fällt das Niveau in den Manometerröhren auch nur wenig; wir haben eine geringe Stromstärke, aber noch bedeutenden Druck oder grosse aquamotorische Kraft in den Röhren. Öffnen wir den Hahn ganz, so wächst die Stromstärke, dagegen nimmt der Druck gegen die Ausflussmündung immer mehr ab.

Schaltungen der Elemente.

Mehrere Elemente können nach S. 10 u. 11 auf Spannung (hintereinander, in Serien) oder auf Menge geschaltet werden. Dazwischen liegen aber noch mehrere Verbindungsarten. (Fig. 54.)

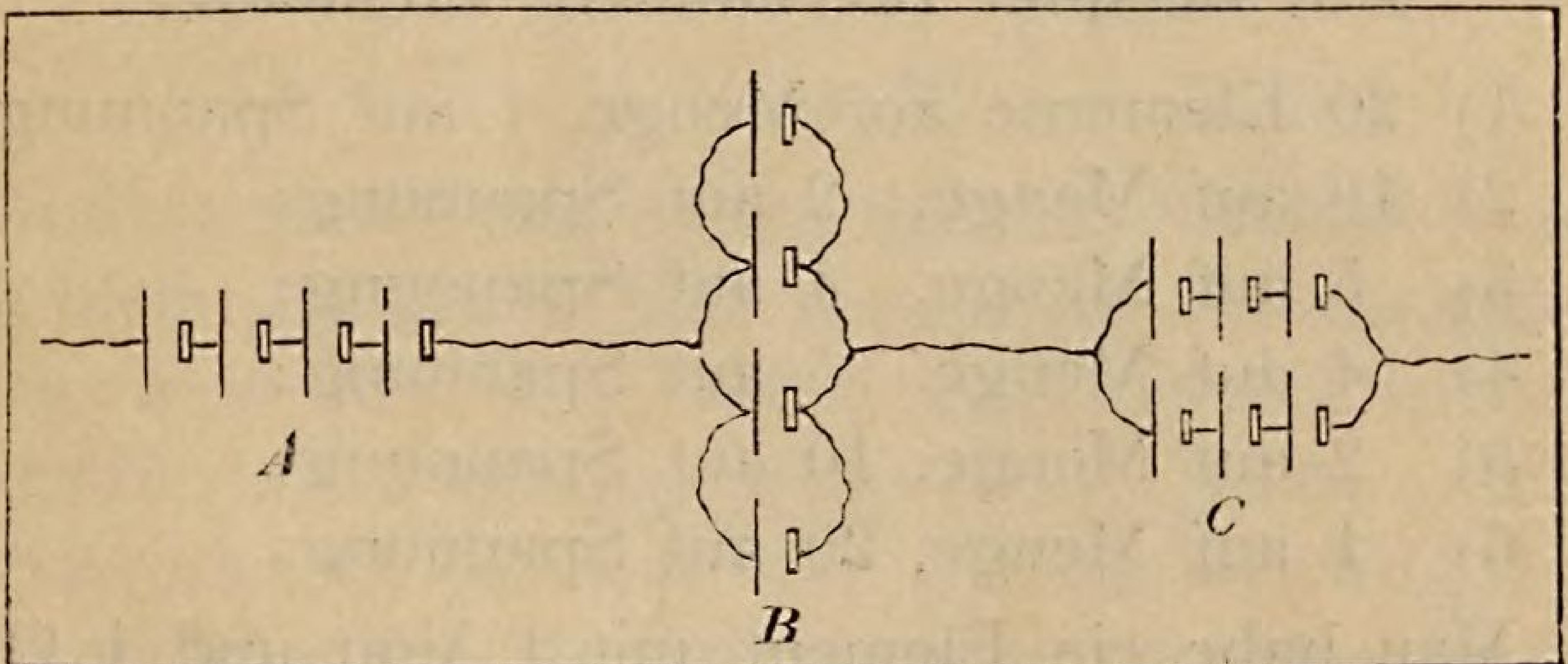


Fig. 54.

Gesetz: Die gesamte Spannung oder EMK einer Kette (Batterie, Säule) ist gleich der Summe der einzelnen Kräfte, $E = e_1 + e_2 + e_3$.

Beweis. Stellen wir einen Zinkstab und einen Kupferstab in ein Glas mit angesäuertem Wasser und leiten den Zinkpol zur Erde ab, so hat der Kupferpol eine Spannung von etwa 1 Volt. Verbinden wir diesen Kupferpol mit dem Zinkpol des nächsten Glases, so bekommt dieser Zinkpol von dem vorhergehenden Kupferpol die Spannung von 1 V und der Kupferpol des zweiten Glases eine um 1 V höhere Spannung als dessen Zinkpol, folglich wird auf dem Kupferpol des zweiten Glases die Spannung von 2 V herrschen.

Verbindet man also in der angegebenen Weise zehn Elemente hintereinander, so herrscht an ihren Endgliedern die Spannung von 10 V. Sind alle Elemente isoliert, so hat das erste Zink die Spannung von — 5 V und das letzte Kupfer die Spannung von + 5 V, also Spannungsunterschied wieder 10 V.

Ein Beispiel für zwanzig Elemente.

1) 20 Elemente auf Menge, 1 auf Spannung;
2) 10 auf Menge, 2 auf Spannung;
3) 5 auf Menge, 4 auf Spannung;
4) 4 auf Menge, 5 auf Spannung;
5) 2 auf Menge, 10 auf Spannung;
6) 1 auf Menge, 20 auf Spannung.

Man habe ein Element mit 1 Volt und 1 Ohm (Volt-Ohm), was etwa einem grossen Daniell ent-

spricht, und der äussere Widerstand betrage 5 Ohm. Wenden wir nun Ohm's Gesetz auf diese sechs möglichen Fälle an, so ist:

$$1)\ J_1 = \frac{E}{R_i + R_a} = \frac{1}{\frac{1}{20} + 5} = 0{,}198 \text{ Amp.},$$

weil die Spannung nur diejenige eines Elementes ist und der innere Widerstand sich auf 20 Elemente verteilt;

$$2)\ J_2 = \frac{2}{\frac{2}{20} + 5} = 0{,}38 \text{ Ampère};$$

$$3)\ J_3 = \frac{4}{\frac{4}{5} + 5} = 0{,}69 \text{ Ampère};$$

$$4)\ J_4 = \frac{5}{\frac{5}{4} + 5} = 0{,}8 \text{ Ampère};$$

$$5)\ J_5 = \frac{5}{\frac{10}{2} + 5} = 1 \text{ Ampère};$$

$$6)\ J_6 = \frac{20}{20 + 5} = 0{,}8 \text{ Ampère}.$$

a. Schaltung auf grösste Stromstärke. Ist s die Anzahl der Elemente auf Spannung, m die Anzahl der Elemente auf Menge und z die Gesamtzahl, so ist $z = s \cdot m$ und die höchste Stromstärke

$$J = \frac{s \cdot E}{\frac{s}{m} \cdot R_i + R_a}.$$

Ändert man s und m so, dass ihr Produkt $s \cdot m$ gleich bleibt, so erhält man die grösste Stromstärke, wenn $s : m = R_a : R_i$. Die Stromstärke einer Batterie ist also am grössten, wenn sich die Anzahl der Elemente auf Spannung zu der auf Menge verhält, wie der äussere Widerstand zum innern Widerstand jedes

Elements und wenn der Widerstand der Batterie gleich ist dem äussern Widerstand.

b. Schaltung auf grösste Sparsamkeit. Man schaltet die Elemente so, dass ihr gesamter innerer Widerstand gegen den äusseren Widerstand sehr gering ist.

c. Schaltung auf schnellste Wirkung. Sind im Stromkreise Elektromagnete oder sonstige Apparate mit Selbstinduktion (X) eingeschaltet, welche das rasche Entstehen des Stromes zu hindern strebt, so macht man den innern Widerstand höher als den äussern und schaltet alle Elemente in Reihe. Vergl. Arbeitsleistung des Stromes!

Aufgaben.

1) Wie soll man sechs Braunstein-Elemente (E je = 1,48 V; R_i = 4 Ω) verbinden, wenn sie ein Läutwerk von 8 Ω Widerstand auf einer Linie von 4 Ω Widerstand in Gang setzen sollen?

$R_a = 8 + 4 = 12\ \Omega;\ s : m = 12 : 4 = 3.$
Nimmt man s = 3 und m = 2, so ist

$$J_1 = \frac{3 \cdot 1{,}48}{\frac{3}{2} \cdot 4 + 12} = \frac{4{,}48}{18} = 0{,}248 \text{ Ampère.}$$

Nimmt man s = 6 und m = 1, d. h. alle Elemente auf Spannung, so ist

$$J_2 = \frac{6 \cdot 1{,}48}{6 \cdot 4 + 12} = \frac{8{,}88}{36} = 0{,}246 \text{ Ampère.}$$

Nimmt man s = 1 und m = 6, d. h. alle Elemente auf Menge, so ist

$$J_3 = \frac{1 \cdot 1{,}48}{\frac{1}{6} \cdot 4 + 12} = 0{,}117 \text{ Ampère.}$$

Man ersieht hieraus, dass J_3 beinahe nur halb so gross ist, als J_1. Die Formeln

$$J = \frac{s \cdot E}{\frac{s}{m} \cdot R_i + R_a} \quad \text{und} \quad \frac{s}{m} = \frac{R_a}{R_i}$$

erlauben somit bei gegebenem inneren und äusseren Widerstand und gegebener Zahl der Elemente den Wert der Stromstärke für jede Verbindung der Elemente zu berechnen.

2) Mit Callaud-Krüger-Elementen von 1 V Spannung und 1 Ω Widerstand will man einen Strom von 5 Amp. durch einen äusseren Widerstand von 1,14 Ω schicken; welches ist die kleinste Anzahl der Elemente?

$$J = \frac{E}{R} = 5 = \frac{E}{1{,}14}; \; E = 5 \cdot 1{,}14 = 5{,}7 \text{ V}.$$

Man braucht also sechs Elemente auf Spannung. Der innere Widerstand der Elemente muss gleich 1,14 Ω sein; ist x die Anzahl der auf Menge geschalteten Elemente, so ist $\frac{6}{x} = 1{,}14$; $x = 5{,}2$; somit 6 Elemente auf Spannung und 6 auf Menge, oder im ganzen 36 Elemente.

3) Eine Glühlampe erfordert 65 V und 0,95 Amp. Man will sie mit Bunsen-Elementen von je 1,8 V und 0,1 Ω innerem Widerstand brennen lassen; wie viel Elemente sind mindestens erforderlich? Widerstand der Lampe $R = \frac{65}{0{,}95} = 68{,}4\ \Omega$.

$$J = \frac{\text{EMK der Batterie}}{\text{Widerstand d. Batterie} + \text{Widerstand d. Lampe}}.$$

Ist n die Anzahl der Elemente auf Spannung, so hat man:

$$0{,}95 = \frac{n \cdot 1{,}8}{n \cdot 0{,}1 + 68{,}4}$$; woraus n = 37 b. 38 Elemente; man wird also 38 Elemente verwenden.

Prüfung der Elemente.

In der englischen Post-Office wird die Prüfung in der Art vorgenommen, dass man das Element durch 10 Ω schliesst und die Zeit notiert, in welcher der Strom auf die Hälfte der anfänglichen Stärke herabgesunken ist. Dies ergiebt für die verschiedenen Braunstein-Elemente 6 bis 42 Tage. Elemente für Starkströme untersucht man am zweckmässigsten, in dem man die Spannung des offenen (Galvanometer mit sehr hohem Widerstand) und des durch verschiedene Widerstände geschlossenen Elementes beobachtet und dabei Strom und Spannung (Einschaltung von Ampère- und Voltmessern III) misst. Der Widerstand des Voltmeters muss mindestens 20 Ohm für 1 Volt zu messender Spannung betragen. Bei Trockenelementen misst man die Stromstärke in Milliampère, das Instrument soll dann einen Messbereich von 300 Milliampère haben, zur Erweiterung auf 600 Milliampère verwendet man einen Nebenschluss. Der innere Widerstand des Elementes wird am zweckmässigsten durch die Messbrücke (XV) mit Wechselstrom und Telephon gemessen.

Thermoelektrische Elemente.

Im Jahr 1822 entdeckte Seebeck, dass man einen galvanischen Strom erhält, wenn man die En-

den zweier Drähte oder zweier Platten von verschiedenen Metallen zusammenlötet (vernietet, zusammenwindet, zusammenschraubt) und diese Verbindungsstelle erwärmt. Indessen erlangt man einen Strom schon mit einem einzigen Metalle. Macht man an einem Kupfer- oder Platindraht eine Schleife oder einen Knoten und erwärmt man neben diesen Stellen, so fliesst der Strom von der erwärmten Stelle zur Schleife. — Die Stärke dieser Ströme ist abhängig von dem Unterschied der Temperaturen zwischen der Lötstelle und der abgekühlten Stelle, sowie auch von der Natur der angewendeten Metalle, d. h. von dem Unterschied im Zustande der Moleküle und demzufolge von dem Unterschied im Widerstand, den die einzelnen Teile der Metalle dem Durchgang der Wärme und der Elektricität entgegensetzen. Bei hohen Temperaturen, für Kupfer-Eisen bei 275^0 C., nimmt die elektromotorische Kraft der Verbindung wieder ab; bei Zink-Eisen liegt dieser Punkt bei 200^0.

Die Untersuchungen über das gegenseitige Verhalten der Metalle in Bezug auf die Erregung thermoelektrischer Ströme ergaben folgende Spannungsreihe: + Antimon, Eisen, Silber, Zink, Zinn, Kupfer, Platin, Neusilber, Wismut —. Die thermoelektrische Kraft für 1^0 Temperaturunterschied ist in Volt ungefähr:

Kupfer-Eisen,	Neusilber-Eisen,	Platin-Eisen,	Wismut-Antimon
1300	2500	1800	9000

wenn diese Zahlen mit $10^8 = 100000000$ dividiert werden. Da Antimon und Wismut spröde, schwer zu behandelnde Metalle sind, wählen wir ein Element,

das leicht herzustellen ist und für Laboratorien-Zwecke genügend starke Ströme liefert. (Fig. 55 u. 56.)

Es besteht aus Kupfer- und Neusilberdrähten von 1,5 bis 2 mm Dicke und 15 bis 20 cm Länge.

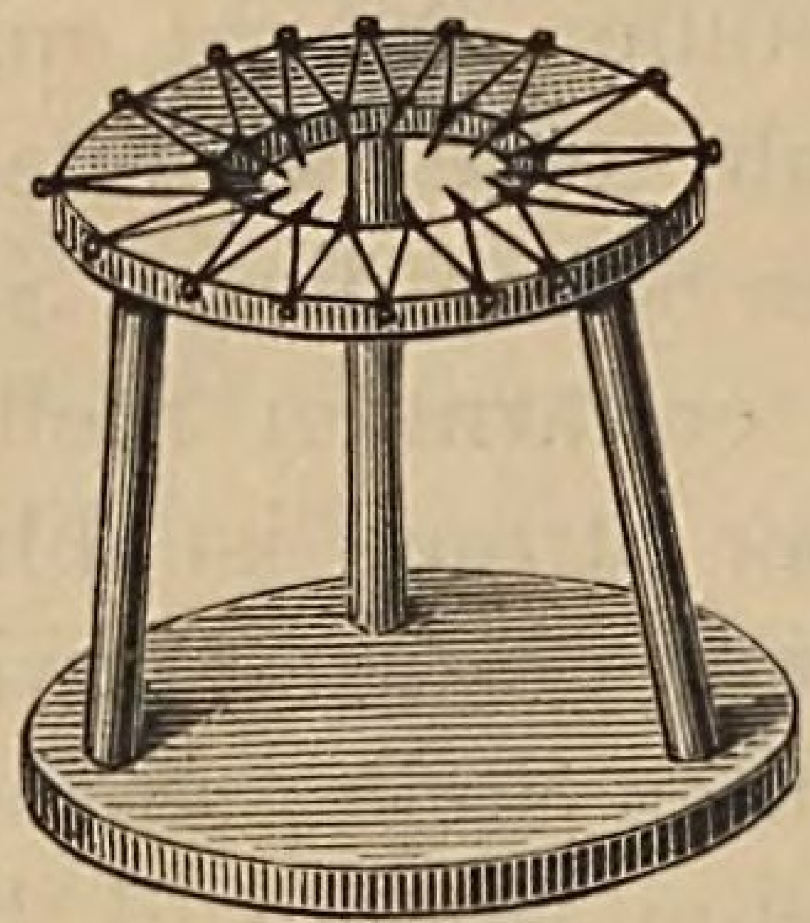


Fig. 55.



Fig. 56.

Etwa 30 Stücke von jeder Sorte reinigt man an den Enden sorgfältig mit Schmirgel, windet je ein Kupfer- und Neusilberdrahtende mit einer Flachklemme über einander und überzieht diese Würgstellen mit möglichst wenig Zinn. Es folgen so immer Kupfer und Neusilber aufeinander; die Enden der Kette bleiben frei, sie sind die Pole. (Besser noch Löten mit Silber.)

Diese Kette wird auf einen Ring von Holz, Gips oder von Schiefer von etwa 20 cm Durchmesser mit Hakenstiften (bei Schiefer mit unten umgebogenen Drähten) in Form eines Strahlenkranzes befestigt, so dass die geraden (inneren) Lötstellen, mit einer Asbestplatte überdeckt, durch eine Weingeistlampe erwärmt und die ungeraden (äusseren) Lötstellen durch die Luft abgekühlt werden.

Man könnte auf diese Krone einen zweiten Holzring mit einer zweiten Krone und so fort auflegen und das Neusilber der ersten mit dem Kupfer der zweiten verbinden: Schaltung auf Spannung; würde

man dagegen die beiden Kupferenden und die beiden Neusilberenden als Pole benützen, so hätte man eine grössere Elektricitätsmenge: Schaltung auf Menge.

Die Spannung wächst, wie bei den galvanischen Elementen, mit der Zahl der verbundenen Paare und beträgt für unsere Anordnung etwa $\frac{1}{12}$ V, so dass zu 1 V 12 Paare nötig sind.

Die Stärke des Stromes wächst mit der Masse der Metalle; eines unserer Elemente liefert $\frac{1}{3}$ Amp.; da die Säule auf Spannung verbunden ist, bleibt die Stromstärke $\frac{1}{3}$ Ampère. (S. Spannungsreihe!)

Auf sehr wohlfeile Weise lassen sich kleine Thermoketten mit Hilfe von Fadenspulen darstellen. (Fig. 57.) Man bohrt am Rande derselben eine möglichst grosse Anzahl Löcher von etwa 1 mm Durchmesser, schiebt Eisendrähte mit Reibung hindurch und verbindet ein unteres Ende mit dem nächsten oberen Ende durch einen Neusilberdraht. Eine solche Kette ist auch für die Wärmelehre verwendbar.

Umgiebt man z. B. die untere Seite der Lötstellen mit Fliesspapier und befeuchtet dieses, so zeigt ein feines Galvanometer durch seinen Ausschlag die Verdunstungskälte an.

Wir geben noch die herkömmliche Form eines Thermoelements an (Fig. 58), das aus Neusilber- und Kupferstreifen von 1 bis 1,5 cm Breite und 1 mm Dicke leicht zusammengelötet werden kann: diese Einrichtung ist sehr bequem, wenn es sich nur darum handelt, nachzuweisen, dass durch die Erwärmung der einen Seite ein die Magnetnadel ablenkender Strom entsteht. — Das Stativ wird so hoch ge-

macht, dass man eine Weingeistlampe unter ein Ende halten kann. Man hat zwar Thermosäulen aus Legierungen von Zink und Antimon und anderseits aus Zink und Wismut mit vielen aufeinander ge-

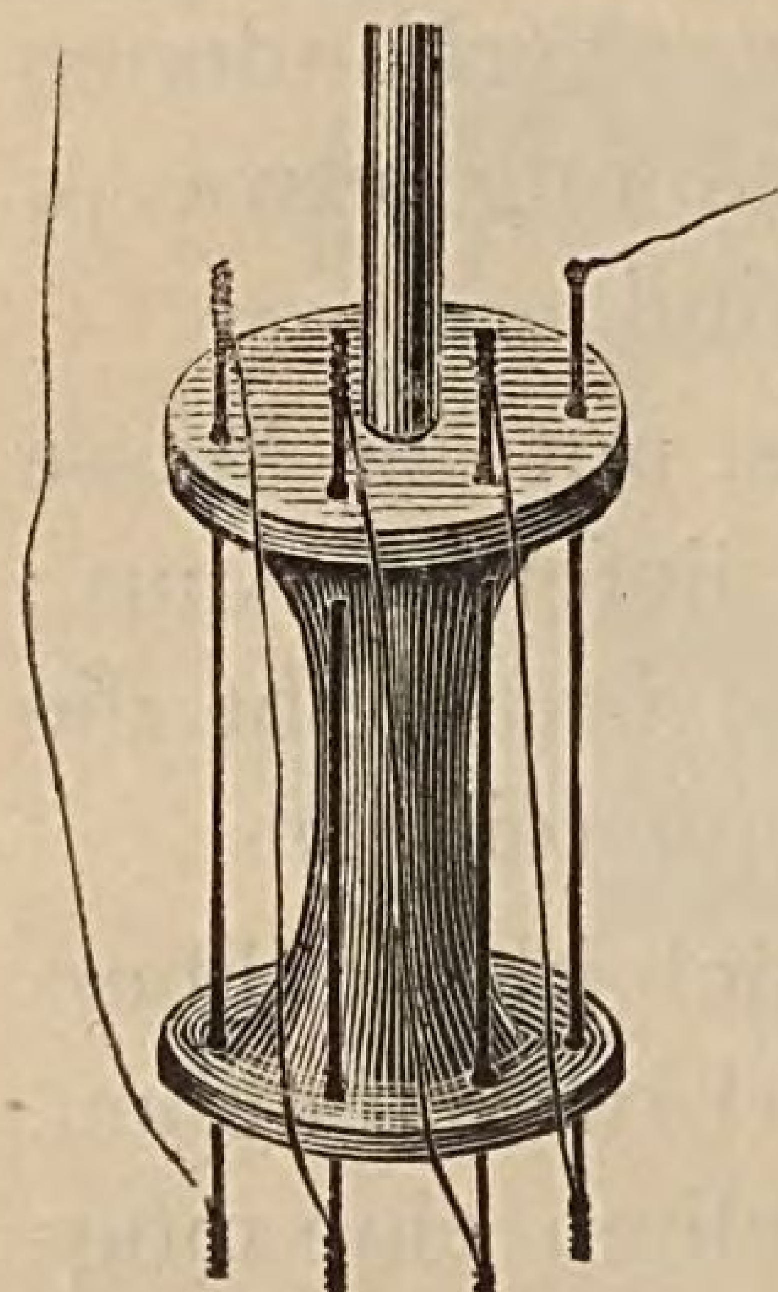


Fig. 57.

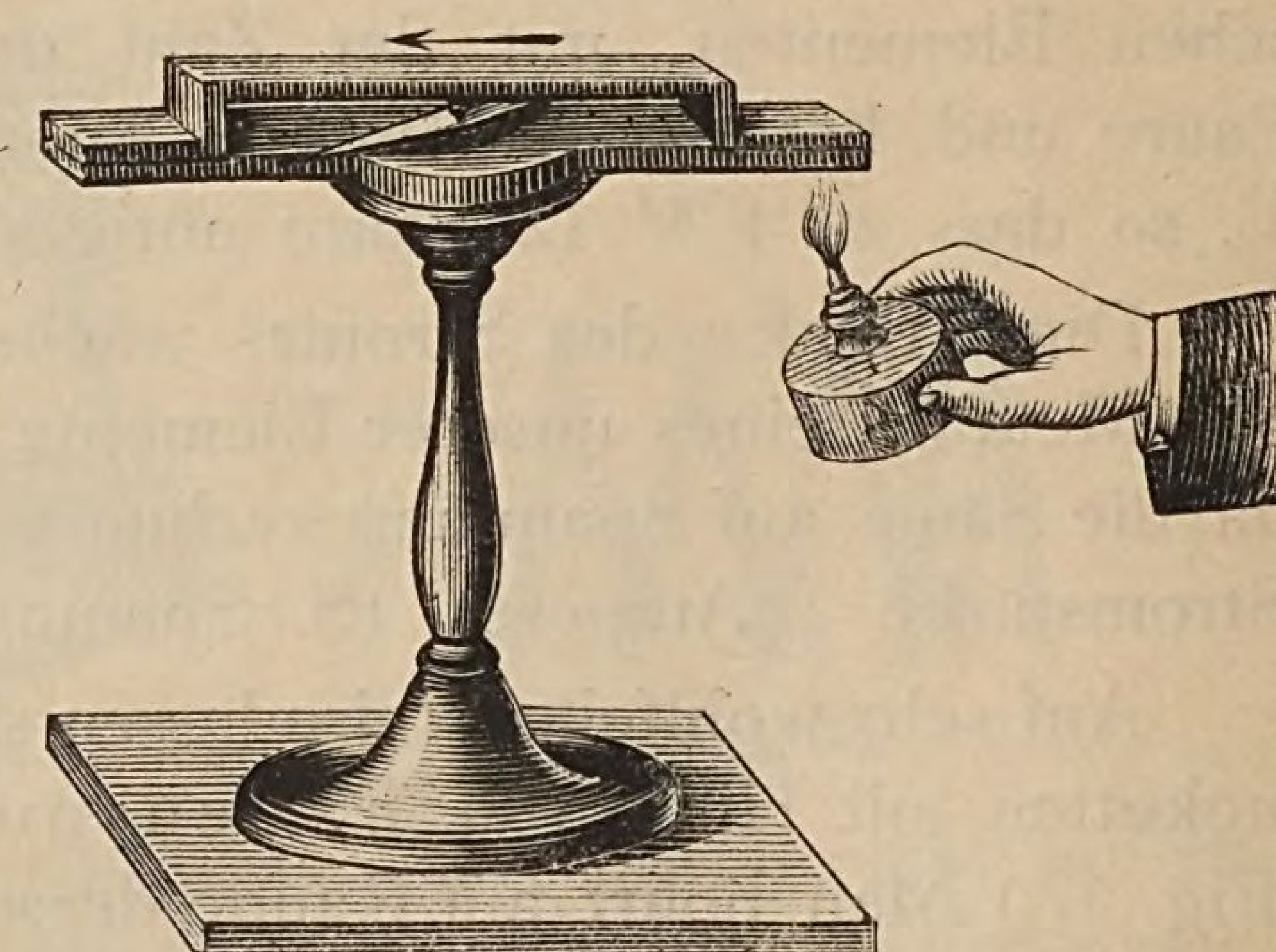


Fig. 58.

stellten Kränzen konstruiert, sie mit Koks und Gas geheizt, aber die Pferdekraftstunde kommt auf 10 bis 12 ℳ zu stehen, denn es werden nicht einmal 2% der aufgewendeten Wärmeenergie in elektrische Energie umgesetzt. Doch sind solche Säulen verwendbar da, wo man eine geringe EMK braucht, wie bei Versilberung, Verkupferung u. s. w. Einen vollkommen kon-

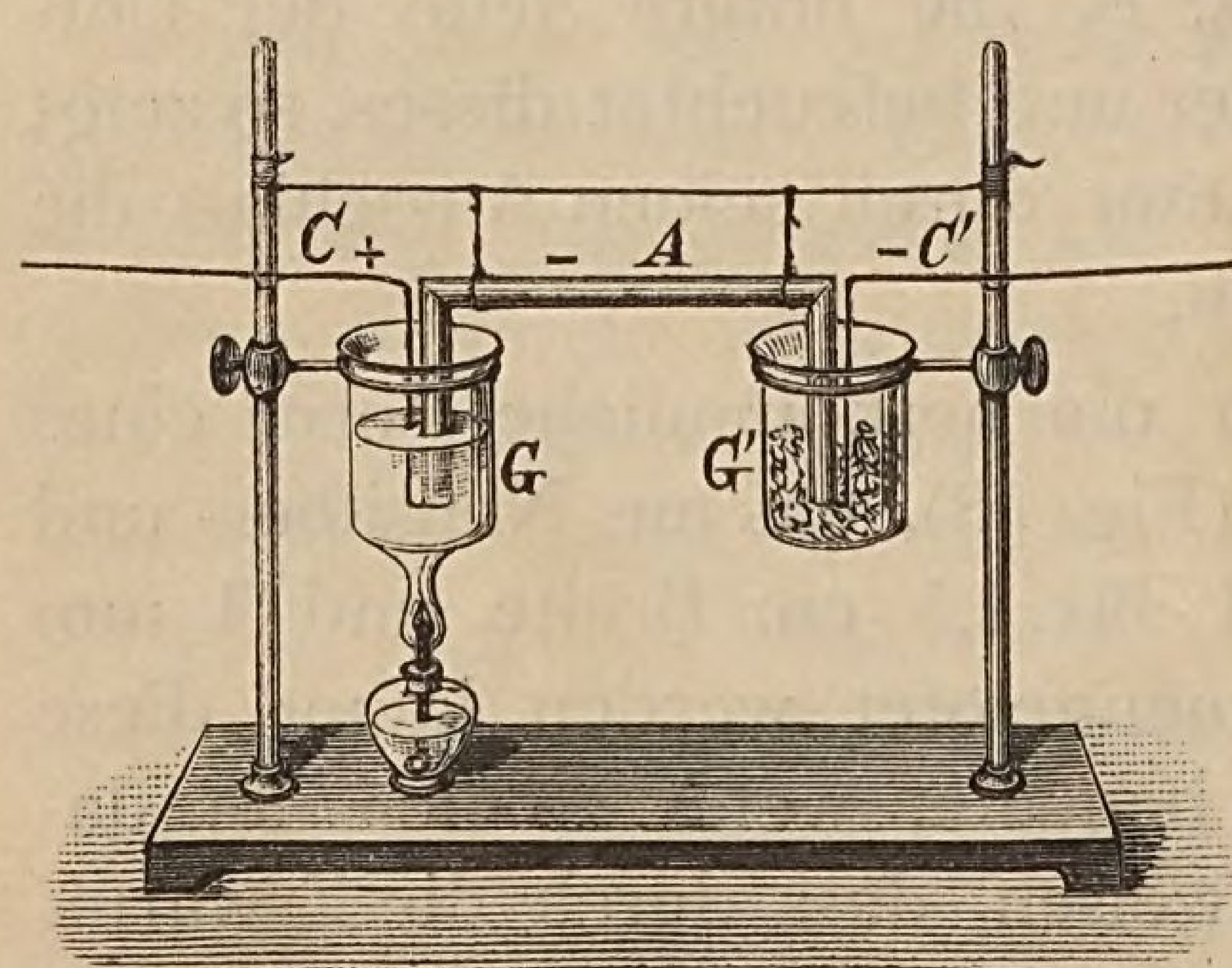


Fig. 58a.

stanten Strom, der zum Graduieren von Galvanometern dient (Kap. III) und mit dem auch Ohm sein Gesetz abgeleitet hat, erhält man durch die Anordnung in Fig. 58a. An den gegossenen Antimonstab A oder Eisendraht sind Neusilberdrähte angeschmolzen oder angelötet; die Lötstellen tauchen in Glasgefässe, wovon G Wasser enthält, das durch eine untergestellte Weingeistlampe zum Sieden erhitzt und wovon G' durch Eisstücke auf Null gehalten wird. Der Stromlauf ist mit C + und C — bezeichnet.

Die Wirkungen des galvanischen Stromes.

a. Wirkungen, welche er in dem von ihm durchflossenen Stromkreis erzeugt; innere Wirkungen:

1) Wärme- und mechanische Wirkungen; der Leitungsdraht wird erhitzt, ausgedehnt und sein Widerstand erhöht; Kap. VII;

2) Lichtwirkungen; die Erwärmung des Leitungsweges kann zum Glühen sich steigern; V u. VI;

3) Chemische Wirkungen, z. B. Wasserzersetzung in und ausser dem Element; IV;

4) physiologische Wirkungen, d. h. solche, die er auf Muskeln und Nerven, durch die er geleitet wird, ausübt; X;

b. Wirkungen, die er ausserhalb seines Stromkreises erzeugt; äussere oder Fernwirkungen:

5) Wirkungen auf andere Stromkreise; elektrodynamische (elektromechanische) Wirkungen; Rotationsapparate; XIII;

6) magnetische Wirkungen; ablenkende und magnetisierende; III; VII;

7) Wirkungen auf geschlossene Stromkreise; induzierende Wirkungen; X.

Die Fernwirkungen der ruhenden Elektricität hängen namentlich von der Spannung der letzteren ab; die der strömenden Elektricität dagegen von deren Menge. Die mechanischen und magnetischen Wirkungen des elektrischen Stromes finden ihre Umkehrungen im elektrischen Motor und in der Dynamomaschine.

Arbeitsleistung eines Stromes.

a. Gesetze.

1) Nach dem Ohm'schen Gesetze ist $J = \frac{E}{R}$.

2) Die Arbeit W eines Stromes wird gefunden, wenn man die Stromstärke mit der EMK multipliziert; also (W = Werk, work)

$$W = J \cdot E = \text{Ampère} \cdot \text{Volt} = \text{Watt}.$$

3) Die Erwärmung eines Leiters ist nach dem Joule'schen Gesetze gleich dem Quadrat der Stromstärke mal dem Widerstand $= J^2R$.

4) Die nützliche Arbeit $W_n = W - J^2R =$ Gesamtarbeit weniger Erwärmung im Element.

5) 736 V-A = 1 Pferdestärke = 75 Kgm.

b. Güteverhältnis. Der innere Widerstand einer Batterie bedingt das Güteverhältnis; bezeichnet R_a den äusseren Nutzwiderstand und Ri den inneren Widerstand, so ist das Güteverhältnis

$$G = \frac{R_a}{R_a + Ri}.$$

c. Beispiele. Man habe eine Batterie, die einen Strom von zusammen 25 V liefert und einen

inneren Widerstand von 15 Ω besitzt. Unter welchen Bedingungen giebt sie die grösste Arbeit?

1) Der äussere Widerstand sei Null, d. h. der positive und negative Pol seien durch einen dicken kurzen Kupferdraht verbunden; dann ist

J = Stromstärke $= \frac{25}{15} = 1{,}67$ Amp.,
W = Arbeit $= 25 \cdot 1{,}67 = 41{,}65$ Volt-Amp.
W_n = nützliche Arbeit = Null.

2) Wir schalten einen äusseren Widerstand = 5 Ω ein, dann ist

J = Stromstärke $= \frac{25}{15 + 5} = 1{,}25$ Amp.
W = Gesamtarbeit $= J \cdot E = 1{,}25 \cdot 25 =$ 31,25 V-A oder Watt;
W_n = nützliche Arbeit $= W - J^2R =$ $31{,}25 - 1{,}25^2 \cdot 5 = 7{,}8$ V-A.
Wirkungsgrad $= \frac{W_n}{W} = \frac{7{,}8}{31{,}25} = 25\,\%$.

3) Der äussere Widerstand sei gleich dem innern = 15 Ω, so ist

J = Stromstärke $= \frac{25}{15 + 15} = 0{,}833$ Amp.
W = Gesamtarbeit $= 0{,}833 \cdot 25 =$ 20,825 V-A.
W_n = nützliche Arbeit $= W - J^2R =$ $20{,}825 - 0{,}833^2 \cdot 15 = 10{,}1413$ V-A oder Watt;
$\frac{W_n}{W} = \frac{10{,}413}{20{,}825} = 50\,\%$.

4) Für einen äusseren Widerstand = 30 Ω ist

$J = \frac{25}{15 + 30} = 0{,}56$ Amp.;

$W = 14$ V.-A.;

$W_n = 9{,}37$ V.-A.;

$\frac{W_n}{W} = 67\,\%$.

c. Graphische Darstellung dieser Berechnungen Fig. 58b. Trage von O aus die Stromstärken auf der Abscisse OA in beliebigem Massstab ab; in Fig. 58b sind sie mit 10 multipliziert, weil die Verhältnisse doch dieselben bleiben; auf der

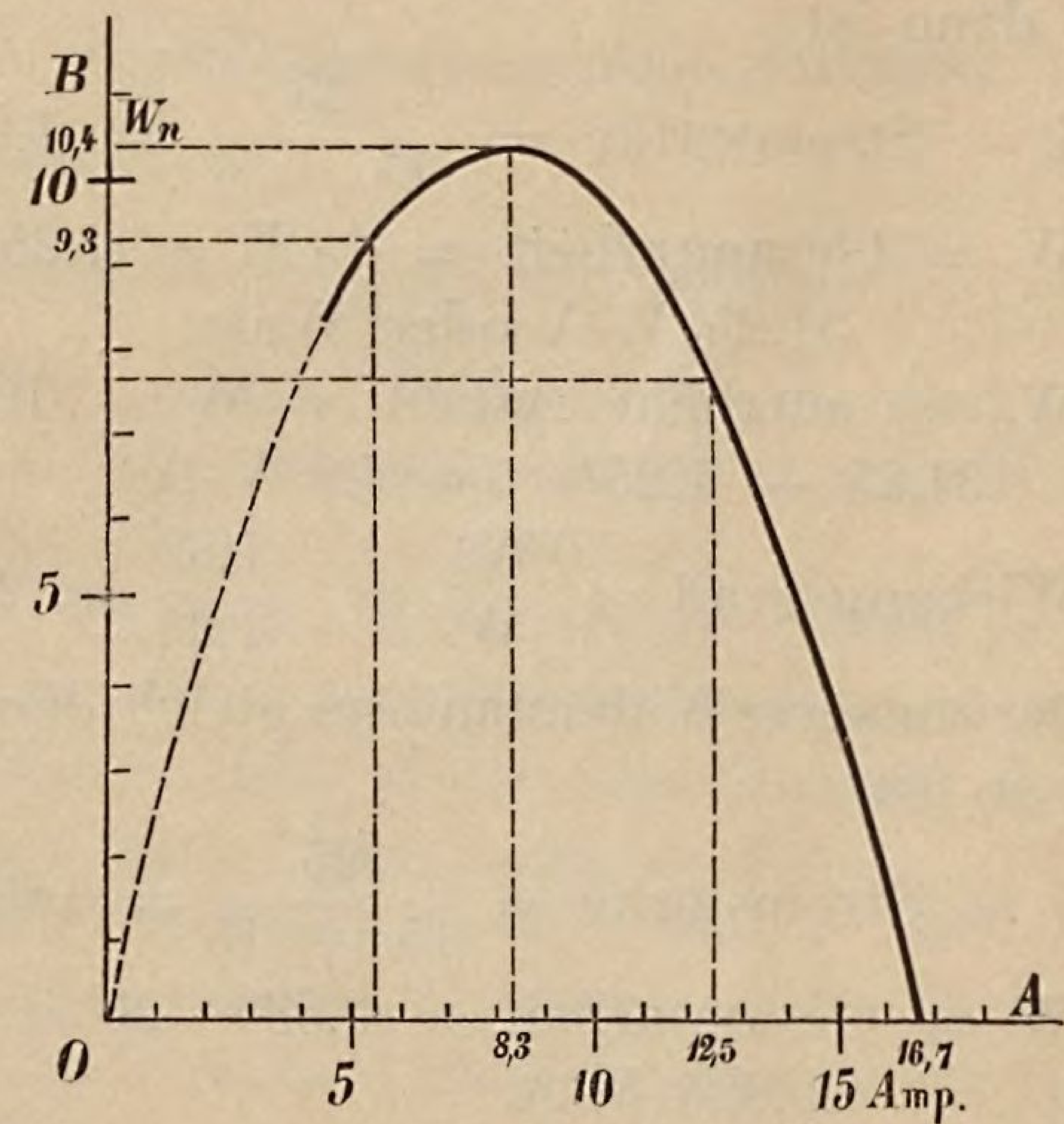


Fig. 58b.

Ordinate OB schneide wieder von O aus die W_n in geeignetem Massstabe ab, verbinde je zwei zusammengehörige Werte durch Parallelen und ziehe die Kurve; würden mehr Punkte bestimmt, so würde die Kurve nach O zurückkehren.

d. Folgerungen. Eine gegebene Anzahl Elemente liefert im äusseren Stromkreis die grösstmög-

liche Arbeit, wenn (Nr. 3) der innere Widerstand gleich ist dem äussern, dann ist $W = \frac{E}{2R}$; dabei geht aber die halbe Energie (Arbeitsfähigkeit) der Batterie durch Wärme verloren.

Steigt der äussere Widerstand noch mehr, so wird zwar die Stromstärke geringer und das Zink langsamer verbraucht, aber es wird ein grösserer Teil der Energie nützlich verwendet und ein geringerer in den Elementen selbst verzehrt. Gleiche Schlussfolgerungen lassen sich auch für Dynamomaschinen machen. Ihr Ankerwiderstand entspricht dem Batteriewiderstand. Je geringer jener gegen den äussern Widerstand ist, ein desto grösseres Güteverhältnis der Maschine lässt sich erzielen.

Preise einiger Chemikalien (veränderlich).

Quecksilber 1 Kilogramm	ℳ	5,50
Quecksilbersulfat (Hydrargirum sulfuricum)	„	5,00
Schwefelsäure, gewöhnliche (acidum sulfuric.)	„	0,20
do. arsenfrei	„	0,30
do. rein	„	0,60
do. krist. 99 %.	„	0,80
Ätzkali (Kalium causticum)	„	2,00
Salzsäure (Chlorwasserstoffs.)	„	0,20
Salmiak (Chlorammonium)	„	1,20
do. rein	„	2,00
Salpetersäure (acidum nitricum)	„	0,50
do. rein	„	0,80
do. rein, rauchend	„	1,60
Doppelt-chromsaures Kali	„	1,30
do. do. rein	„	1,80

Doppelt-chromsaures Natron (Natrium bicromaticum)	ℳ	1,00
Doppelt-chromsaures Natron, rein	„	2,00
Kupfervitriol (cuprum sulfuricum)	„	0,60
do. rein	„	1,00
do. eisenfrei	„	1,20
Nickelsulfat (niccolum sulfuricum)	„	2,00
do. rein	„	8,00
Schwefelsaures Nickeloxydul-Ammoniak	„	3,50
Salpetersaures Silber (Höllenstein, argentum nitricum)	„	100,00
Phenolphtaleïn	„	60,00
Bleioxyd (Plumbum oxydatum) kupferfrei	„	1,50
Bleiüberoxyd (Pl. peroxydatum) verkäuflich	„	1,30
do. sehr rein	„	3,50
Stanniol (1 Blatt 20 ₰)	„	4,00
Platin, Blech und Draht, 1 g 1,80 ℳ	„	1500,00
Schellack Ia weiss	„	5,00
Aluminium, Blech und Draht	„	25,00
Magnesium, Band und Draht	„	50,00

Kapitel II.

Accumulatoren oder Stromsammler.

Prinzip der Sammler.

Ein früherer Versuch hat gezeigt, dass bei der Wasserzersetzung der positive Pol den Sauerstoff und der negative Pol den Wasserstoff herbeizieht. Nehmen wir nach einiger Zeit die Batterie hinweg und verbinden den vom Sauerstoff umgebenen Blei- oder Platinstreifen, die Anode, mit dem vom Wasserstoff umgebenen Blei- oder Platinstreifen, die Kathode, durch ein Galvanometer, so weist der Ausschlag der Magnetnadel auf einen Strom hin, der dem zerlegenden, primären oder Hauptstrom entgegengesetzt verläuft. Der Wasserzersetzungsapparat oder das Voltameter verhält sich sonach wie ein galvanisches Element, die Anode bildet den positiven Pol, die Kathode den negativen. Der Strom (Polarisationsstrom) dauert an, bis die Gase wieder zu Wasser vereinigt sind und ist, da ja bei dem Vorgang nichts verloren geht und nichts erschaffen wird, dem Batteriestrom theoretisch vollkommen gleich.

Bei der Zersetzung (Elektrolyse) des Wassers beobachtete Schönbein einen beissenden Geruch, der an den Geruch von Chlor, Brom und Jod gleichzeitig erinnerte; schliesslich bemerkte er, dass dieser Geruch,

um dessen willen er den Körper Ozon nannte, von einer Abänderung (Allotropie) des Sauerstoffs herrühre. Nachdem Schönbein gezeigt, dass die Bildung von Ozon nicht nur bei der Zersetzung durch den elektrischen Strom, sondern auch bei dem Ausströmen der Reibungselektricität aus Spitzen entstehe, war es ihm gelungen, dasselbe auf rein chemischem Wege, z. B. bei der langsamen Verbrennung des Phosphors (kleine Phosphorstückchen werden nicht ganz mit Wasser bedeckt), herzustellen, so dass fast stets bei Anwesenheit von Sauerstoff auch Ozon vorhanden ist. Da das Ozon sich an der positiven Elektrode bildet, bezeichnet man es auch als den negativen und aktiven Sauerstoff und denkt sich die Moleküle nach folgender Weise gebildet $\frac{-}{-}+$; wogegen man das Molekül $\frac{+}{+}-$ als Antozon und elektropositiven Sauerstoff auffasst: manche Chemiker sehen das Antozon als Wasserstoffüberoxyd (H_2O_2) an.

Der beschriebene Apparat ist das Gas-Element von Grove 1843.

(Fig. 59.) Zweiter Versuch. Stellt man in angesäuertes Wasser zwei wohlgereinigte Bleiplatten und lässt man einen Strom hindurchgehen, der Wasser zu zersetzen imstande ist, so beobachtet man: der Sauerstoff O wirft sich auf die positive Elektrode (Anode), oxydiert sie und bildet auf der Oberfläche eine Schicht braunen Bleioxyds P_bO_2, die am Blei haftet, weil sie in verdünnter Schwefelsäure unlöslich ist, der Wasserstoff dagegen wandert zur negativen Elektrode (Kathode).

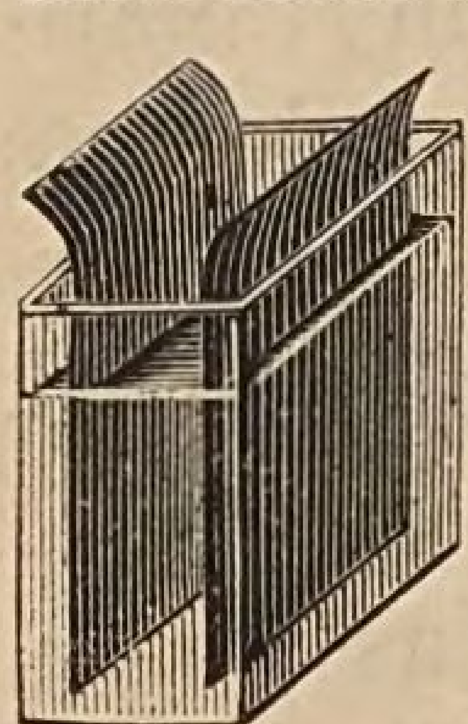


Fig. 59.

vereinigt sich mit allen Spuren Sauerstoff, die er auf der Platte findet, und diese wird hellgrau.

Verbindet man nach einiger Zeit die beiden Bleiplatten durch einen Leitungsdraht, so zersetzt das Bleioxyd das Wasser und bemächtigt sich des Wasserstoffes, während der überschüssige Sauerstoff sich auf die negative Platte wirft und sie oxydiert. Dieser Vorgang dauert unter Stromentwicklung, da jeder chemische Vorgang einen Strom erzeugt, so lange, bis beide Platten mit Bleioxyd überzogen sind.

Diese beiden Vorgänge lassen sich in chemischen Zeichen so darstellen:

1) Zersetzung unter dem Einfluss des Batteriestromes:

$$P_b^{\prime} O + H_2O + P_b O = P_b O_2 + H_2O + P_b;$$

2) Das Voltameter als Element:

$$P_b O_2 + H_2O + P_b = P_b^{\prime} O + H_2O + P_b O.$$

Nach Verlauf einer gewissen Zeit sind beide Elektroden wieder mit einer Schichte Bleioxyd bedeckt.

Lässt man den Batteriestrom von neuem und in gleichem Sinne hindurchfliessen, so wird die positive Elektrode wieder eine möglichst grosse Menge Sauerstoff aufnehmen, während die negative in schwammiges Blei übergeht und den an der Kathode sich entwickelnden Wasserstoff absorbiert; ist aller Sauerstoff an der negativen Elektrode aufgezehrt, so steigen an ihr Gasbläschen auf.

Von diesem Augenblicke an ist unser Apparat wieder eine Elektricitätsquelle, und darum hat man ihn auch sekundäre Säule genannt. Ritter baute 1803 die erste Ladungssäule aus Kupfer- und Pappscheiben. Sinsteden (1854) verwendete zuerst Blei

zu sekundären Elementen und Planté griff 1859 den Gegenstand wieder auf. Sinsteden und Gmelin (1858) haben die vollständige theoretische Grundlage der Accumulatoren gelegt. Vergl. Polarisationsstrom!

Zweck und Anwendungen der Sammler.

Die sekundären Säulen sind eine Wiederholung dieser Versuche im grossen Massstabe. Ihre nächste Aufgabe ist also, den Batteriestrom als chemische Energie aufzuhäufen (accumulare = aufhäufen, ansammeln), daher auch die Bezeichnung Accumulatoren oder Sammler, um sie zur gewünschten Zeit als elektrische Energie wieder abzugeben. Allein sie haben noch eine zweite Aufgabe; sie sollen den primären Strom zugleich umformen, z. B. den schwach gespannten Strom galvanischer Elemente in einen stark gespannten Strom verwandeln: Verwendung im Experimentierzimmer, für medizinische Zwecke u. s. w. Nach Ohm ist $J = \frac{E}{R}$. Diesem Gesetz zufolge ist es möglich, nach Belieben einen schwachen Ladungsstrom in einen starken Entladungsstrom umzuwandeln, indem man den innern Widerstand vermindert, und umgekehrt ist es möglich, einen Strom von niedriger Spannung in einen solchen von beträchtlicher Spannung umzuändern, indem man die Sammler in Serien schaltet. Der Widerstand der Accumulatoren fällt von $\frac{1}{100}$ bis unter $\frac{1}{1000}$ Ohm. (Fig. 60.)

Natürlich gilt auch hier das goldene Prinzip der Mechanik: Was an Kraft gewonnen wird, geht an Zeit verloren.

Obwohl die Accumulatoren teuer sind, nur 90% der erhaltenen Elektricitätsmenge und nur 75% der aufgewandten Gesamtenergie zurückgeben, weil die

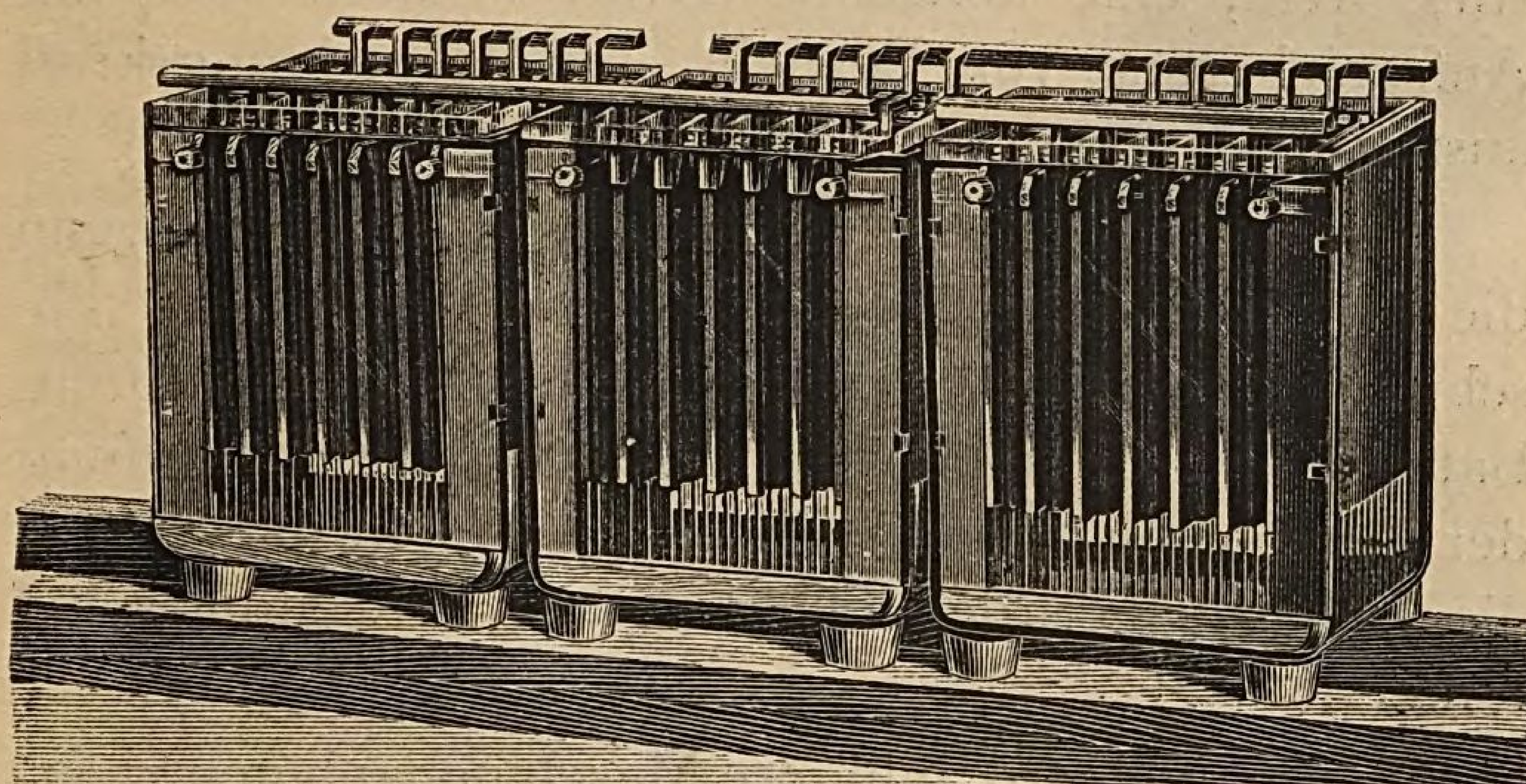


Fig. 60.
Accumulator der Accumulatoren-Fabrik in Hagen i. W.

Flüssigkeit selbst als Leiter für den sekundären Strom dient (Kurzschluss), so können sie doch in der Technik wesentliche Dienste leisten:

a. um nach Aufhören des Maschinenbetriebs Strom zur Verfügung zu stellen, oder den Strom einer Batterie den Tag über zu irgend einer Arbeit anzusammeln; Ladestationen für elektrischen Bahnbetrieb und zur Beleuchtung;

b. um den starken Strom einer Dynamomaschine in einen Strom von geringerer Spannung und längerer Dauer umzuformen; Telegraphie, Elektrochemie;

c. um überschüssige Betriebskraft mit Hilfe einer Dynamomaschine als Electricität aufzuspeichern; die aufgespeicherte Elektricität wird dann zu

einer Zeit verwendet, in der die noch vorhandene Betriebskraft nicht ausreicht, den Bedarf zu decken;

d. um in den Stunden, in denen der Werkbetrieb stille steht, eine konstante Kraft (Wasserkraft) zur Aufspeicherung von Betriebs- und Beleuchtungskraft auszunützen;

e. um eine konstante Spannung zu erhalten; wenn die Geschwindigkeit einer Maschine auf- und abschwankt, schaltet man eine kleine Accumulatoren-Batterie ein; dieselbe wirkt im Sinne der Dämpfung der Zuckungen, erzeugt ein ruhiges Licht und erhöht die Lebensdauer der Glühlampen; Anwendung bei Bahnen;

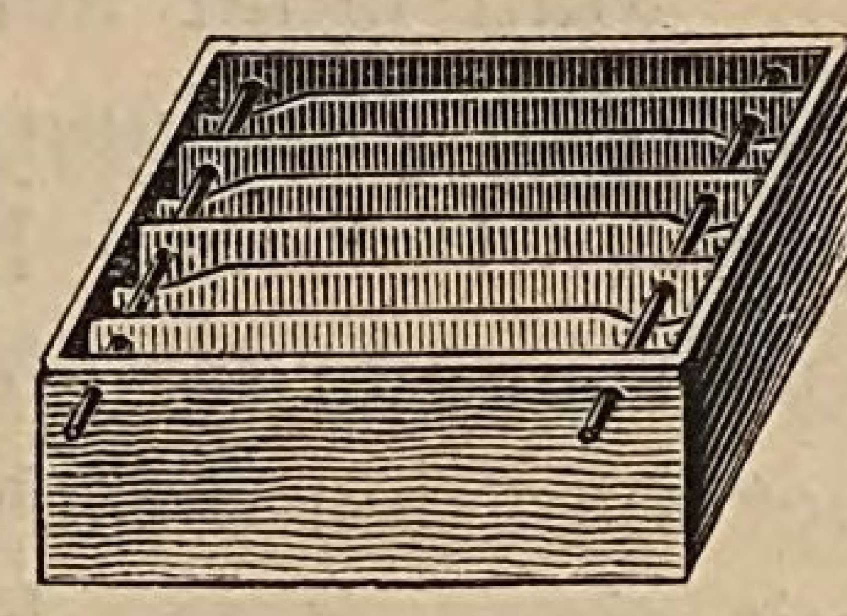
f. um kleinere, billigere Maschinenanlagen zu erlangen; billigeres Leitungsnetz bei zweckmässiger Einrichtung.

Accumulatoren und Kondensatoren.

Die Accumulatoren häufen die elektrische Energie auf einem Umwege an, durch eine Verwandlung in chemische Energie; die Kondensatoren, z. B. eine Leydner Flasche, sammeln sie direkt an, sie scheinen darum Vorzüge vor den Accumulatoren zu besitzen. Allein ein Sammler von 1 kg Gewicht vermag die tausendfache Elektricitätsmenge von der eines Kondensators zu fassen, der an Oberfläche der ganzen Erdkugel gleich käme. Man ersieht hieraus, dass es durchaus unpraktisch ist, Elektricität mittels Kondensatoren anzusammeln, sobald es sich darum handelt, beträchtliche Mengen aufzuspeichern.

Eine wohlfeile Zelle.

(Fig. 61.) Alle oxydierbaren Metalle könnten als Elektroden für einen Sammler benützt werden; man hat aber bald erkannt, dass Blei allein die gehörige Porosität zu erlangen vermag; je poröser eine Elektrode ist, desto fähiger ist sie, bei gleichem Volumen und hauptsächlich bei gleichem Gewichte Elektricität aufzunehmen.


Fig. 61.

Ein Holztrog von etwa 20 cm innerer Höhe, 25 cm Länge und 15 cm Breite wird mit Firnis wasserdicht ausgekleidet, auf beiden Breitseiten sind unten und oben Brettchen von 3 cm Breite, 1 bis 2 cm Dicke und 15 cm Länge von aussen her angeschraubt. Diese Leisten sind mit der Säge eingeschnitten, so dass man die Bleiplatten in die Schnitte einlassen kann; diese Fugen sind 5 bis 6 mm von einander entfernt. Die Leisten werden vor dem Einfügen sorgfältig paraffiniert. Dann schneidet man so viele Bleiplatten von 20 cm Höhe, 25 cm Länge und 1 mm Dicke aus, als Einschnitte in den Leisten vorhanden sind; nimmt ihnen eine Ecke weg und durchbohrt die andere entgegengesetzte an derselben Längsseite liegende Ecke mit einer Reibale, legt sie hierauf etwa 10 Stunden in eine Mischung von 10 T. Salpetersäure, 20 T. Schwefelsäure und 170 T. Wasser, bringt sie dann in die Einschnitte so, dass die abgeschnittenen Ecken rechts und links wechseln, vereinigt alle geraden Platten sowie alle ungeraden je durch einen in die gemachten Löcher geschobenen Kupfer- oder Messingstab, und füllt schliesslich

angesäuertes Wasser vom specifischen Gewicht 1,17 (16%, d. h. 100 Gewichtsteile Wasser und 16 G. T. Schwefelsäure) in den Trog ein.

Man ladet nun, indem man den einen Querstab mit dem positiven Pol und den andern mit dem negativen Pol einer Batterie verbindet. Da man in Zukunft immer im gleichen Sinne zu laden hat, bezeichnet man den positiven Pol mit den rotbraunen Platten mit einem roten Kreuz und den negativen Pol mit den hellgrauen Platten mit einem schwarzen Strich. Der Accumulator ist geladen, wenn sich an der Anode Sauerstoffblasen zu zeigen anfangen oder „die Zellen kochen“; man beginnt sofort mit der Entladung.

Statt von den Bleiplatten Ecken wegzuschneiden, ist es vorteilhafter, Fahnen (Fig. 60 u. 65) stehen zu lassen und diese durch Klemmen oder Schraubenbolzen zu verbinden. Diese Fahnenbündel sind die beiden Pole; die Querstäbe fallen dann natürlich weg.

Formation der Accumulatoren.

Unsere Zelle würde nur eine geringe Menge Elektricität aufnehmen; die angewendeten Bleiplatten besitzen noch eine beträchtliche Dichte; sie müssen also porös gemacht werden. Man ladet mit Bunsen- oder Meidinger-Elementen und entladet nach einer Ruhepause den Sammler zu diesem Ende 10 bis 20 mal durch einen Widerstand von 30 bis 40 Ohm, aber jedesmal im entgegengesetzten Sinne, bis durch die wiederholten Oxydationen und Desoxydationen die Platten schwammig geworden sind. Dieses wechselnde Laden und Entladen bezeichnet man als „Formation des Sammlers“. Ist sie vollendet, so ladet

man stets in derselben anfänglichen Richtung. Diese von Planté (1872) angegebene Formation ist langwierig, sie wurde abgekürzt von Faure.

Anfertigung einiger Sammler.

a. Nach Faure (1881) und Tudor (1884) (Fig. 62). Zwei Bleiplatten von 1 mm Dicke und ungefähr 15 cm Breite und 1 m Länge legt man 10 bis 15 Stunden in die schon angegebene Mischung von 1 T. Salpetersäure, 2 T. Schwefelsäure und 17 T. Wasser, breitet sie dann auf einer ebenen Tafel aus und überdeckt die eine Elektrode mit einer gekochten Mischung von Mennige ($Pb_3 O_4 = 2 Pb O \cdot Pb O_2$), Schwefelsäure und Wasser und die andere (negative) Elektrode mit einer gekochten Mischung von Bleioxyd ($Pb O_2$), Schwefelsäure und Wasser, trägt von jeder Mischung eine dicke Lage auf, lässt trocknen; legt die eine Platte zwischen zwei gleichgrosse Tuchstreifen, dann die andere Platte auf den oberen dieser Tuchstreifen, überdeckt sie selbst wieder mit einem solchen, rollt das Ganze über einer Welle zum Cylinder, hält den Ballen mit einem oder zwei Kautschuk-Bändern zusammen und stellt ihn in ein Gefäss, das 1 T. Schwefelsäure und 9 T. Wasser enthält. An jeder Bleiplatte hat man einen Zuleitungsstreifen stehen zu lassen. Die Formation erfordert 4 bis 5 Ladungen und Entladungen. Die Mennige nimmt Sauerstoff auf, verwandelt sich in Bleiüberoxyd ($Pb_3 O_4 + O_2 = 3 Pb O_2$) und geht von mennigrot in



Fig. 62.

dunkelbraun über: das Bleioxyd giebt diesen Sauerstoff ab und hinterlässt schwammiges Blei.

Positive und negative Elektroden der Sammler. Bei den Sammlern heisst diejenige Platte, die mit dem positiven Pol der Batterie verbunden ist, die positive Elektrode. Da aber der vom Accumulator abgegebene Strom eine dem primären Strom entgegengesetzte Richtung hat, so müsste dieser Strom von der negativen Sammler-Elektrode ausgehen. Die Bezeichnung der Sammler-Elektroden richtet sich somit nach der Ladung.

Nachteile des Faure'schen Sammlers. Die wechselnden Ladungen und Entladungen eines Sammlers bewirken Zusammenziehungen und Ausdehnungen der Bleiplatten, die Mennigschicht ist unfähig, diesen Änderungen zu folgen, sie bröckelt ab und die Formation ist von vorn anzufangen. Diese Sammler sind daher aufgegeben.

Will man die Bleiplatten der wohlfeilen Zelle mit Faure'scher oder aktiver Masse überziehen, so verfahre man folgendermassen.

Bürste die Bleiplatten mit einer Stahlbürste blank, mische in einer Reibschale zu verdünnter Schwefelsäure (1 Vol. Wasser und 2 Vol. konzentrierte Schwefelsäure) so viel Mennige, dass ein dicker Teig entsteht (4 kg Mennige, 625 cm^3 Schwefels. von 1,185 spec. Gewicht). Derselbe entwickelt ozonartig riechende Gase und nimmt eine braune Farbe an, weil sich Superoxyd (Überoxyd) bildet. Lasse diese Masse 24 Stunden stehen und streiche sie auf die blanken Bleiplatten. Damit letztere grössere Quantitäten aufnehmen und sie fester halten können, wende

gegossene Platten an, welche tiefe Querrinnen tragen. Nach einigen Tagen ist die Masse zu einem harten Cement erstarrt, und nun kombiniere die Platten je zu drei oder fünf, trenne sie durch Holzleisten, schalte zwei Zellen hintereinander und lade. Den ladenden Strom schwäche soweit, dass die Gase von der aktiven Masse völlig aufgenommen werden. Die lange Ladungsdauer lässt darauf schliessen, dass die Zellen bei der Entladung grosse Strommengen abgeben können. Zur Ladung solcher Sammler eignen sich insbesondere die Callaud-Krüger-Elemente.

Zu dem Tudor-Accumulator werden die Bleiplatten zunächst etwa $2^1/_2$ Monate lang rein nach Planté formiert. Hierdurch bildet sich eine innige mit dem Kern verbundene Bleiüberoxydschichte, auf welche dann Mennige aufgetragen wird. Sodann wird die Platte nochmals dem Strom ausgesetzt, um die Mennige ebenfalls in Überoxyd zu verwandeln. Dieser letzte Vorgang dauert ungefähr 14 Tage, so dass die Herstellung einer + Tudor-Platte im ganzen ca. $^1/_4$ Jahr in Anspruch nimmt.

b. Nach Planté. (Fig. 63.) Man legt zwischen zwei Bleiplatten Bänder von Kautschuk von 0,5 bis 1 cm Dicke und auf die obere Platte gleichfalls solche Bänder, rollt das Ganze auf einen Holzcylinder auf, hält die Rolle mit Kautschukbändern zusammen, entfernt den Holzstab, stellt die Rolle in die angegebene Mischung von Salpetersäure, Schwefelsäure und Wasser, und von da in das angesäuerte Wasser und formiert 10 bis 20 mal. Diese Elemente werden um so besser, je mehr man sie benutzt. Die Dauer der Entladung entspricht der Dicke der Bleisuper-

oxydschicht, also gewissermaassen auch der Dauer der Ladung und der Grösse der Platten, und ferner dem Widerstande, welchen der verbindende Leiter bildet. Bei einem entladenen Planté-Element kann man beobachten, dass es, einige Zeit hindurch sich selbst überlassen, bei offenem Stromkreis neuerdings die Fähigkeit gewinnt, für kurze Zeit einen Strom zu liefern, wie Leydner Flaschen nach der Entladung sich von selbst, wenn auch schwach, wieder laden.

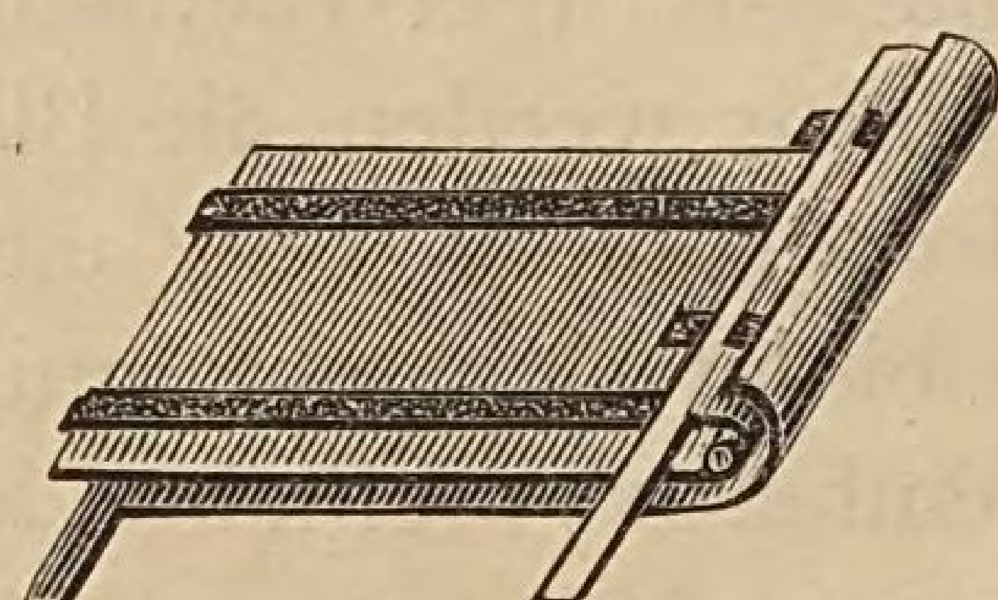


Fig. 63.

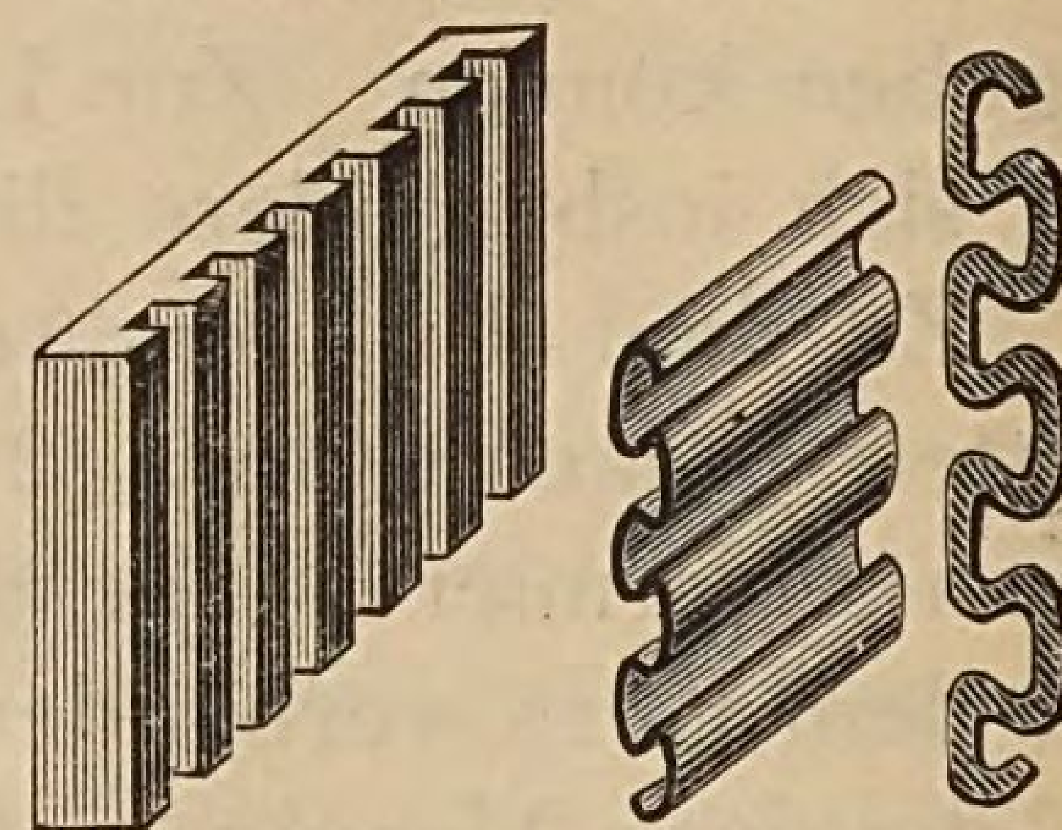


Fig. 64.

c. Luckow stellt die reinen Bleiplatten in sehr verdünnte wässrige Salzlösungen (Glauber-, Bitter-, Kochsalz; 1 bis 3% Salzgehalt des wasserfreien Salzes) und lässt etwa 5 Tage lang einen mässig starken Strom stets in derselben Richtung hindurchgehen; die + Platten werden durch Überoxyd tief schwarzbraun, die — Platten bleiben blank; nach dieser Formation werden sie herausgenommen, in langsam fliessendem Wasser ausgelaugt, in die Zellen eingebaut und diese mit reiner verdünnter Schwefelsäure von 1,15 bis 1,17 spec. Gewicht gefüllt.

d. Mit gefalteten Platten. Man faltet die Bleiplatten, wie in Figur 64 angegeben, stellt sie in die Lösung Salpetersäure-Schwefelsäure-Wasser, füllt darauf die Falten mit den „aktiven Massen" von

Mennige- und Bleioxydmischungen, stellt die so zubereiteten Platten in hinreichend weite Fugen, die an den Wänden der Holzzelle durch senkrecht befestigte Leisten gebildet sind, giesst das angesäuerte Wasser ein und verbindet die Lappen der geraden Platten, sowie die der ungeraden durch Schraubenbolzen. Die Falten müssen horizontal laufen. Zwischen zwei Fugen lässt man einen Zwischenraum von 8 bis 10 mm.

e. Mit Gittern nach Volkmar 1881 (Fig. 65). Bleiplatten von 3 bis 4 mm Dicke werden so gegossen, dass sie ein Netz bilden: in diese Räume werden die „aktiven Massen“ gelagert; die weitere Behandlung wie oben.

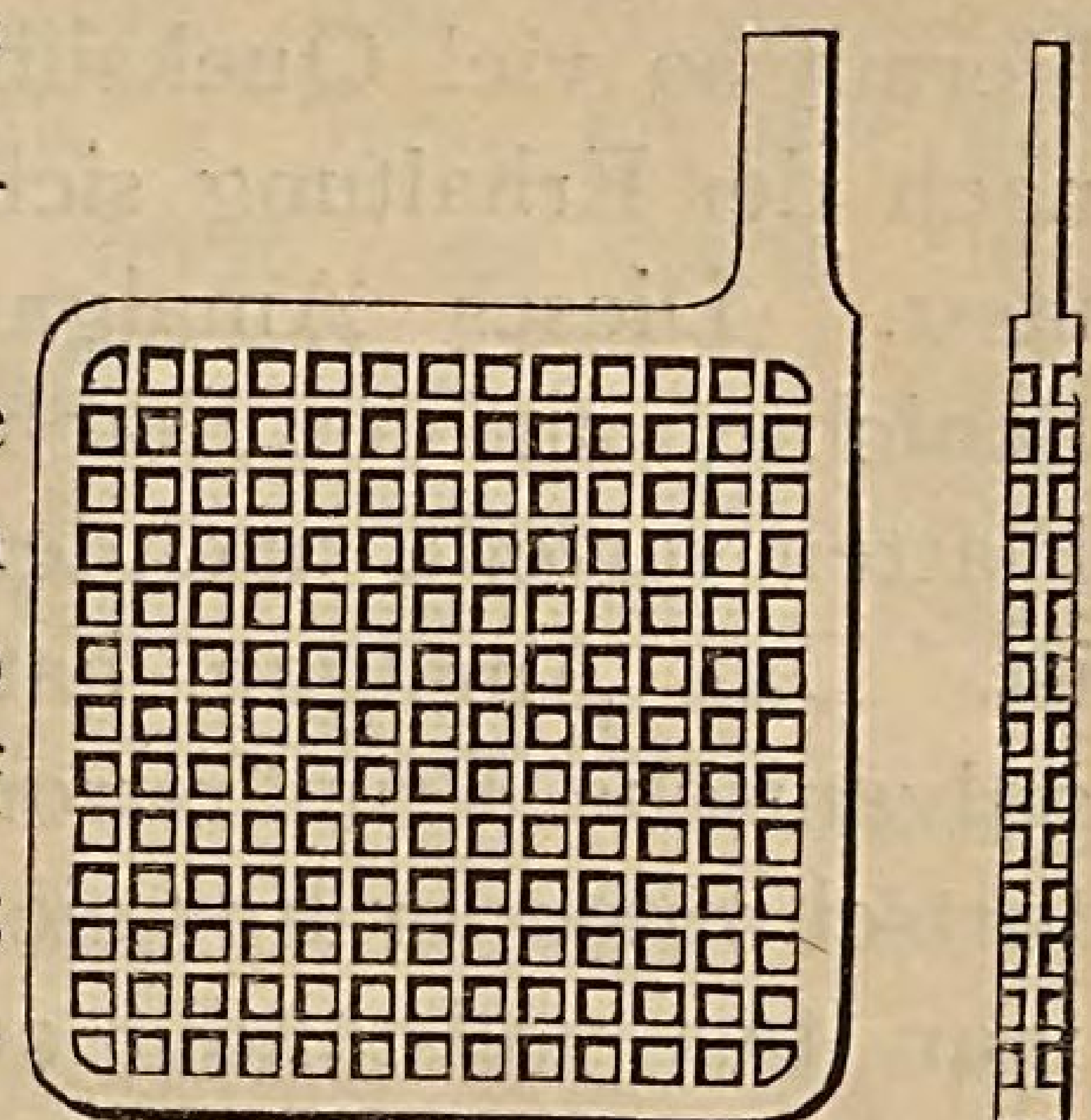


Fig. 65.

Die Platten für unsere wohlfeile Zelle lassen sich mit Vorteil netzartig so vorbereiten, dass man sie auf beiden Seiten rauh macht; man legt sie auf Papierschichten und treibt mit einem Holzhammer die Zähne einer sehr tief und weit gehauenen Feile möglichst gleichmässig auf beiden Seiten ein.

f. Mit Röhren nach Tommasi. In dem Accumulator von Tommasi ist die aktive Masse in Röhren aus Metall, Celluloid, Ebonit, Kautschuk u. s. w. eingeschlossen, welche mit zahlreichen kleinen Löchern durchbohrt sind. In der Mitte dieser Hülle befindet sich eine Seele aus Blei, welche dem Strome als Leiter dient und mit der Bleioxyd-

STAATSBIBLIOTHEK BAMBERG

schicht in Berührung steht. Durch diese Anordnung wird eine hohe Kapazität erreicht.

Die Ladung soll mit einer Stromstärke von 5 bis 6 Ampère auf das kg geschehen.

Die Entladung kann von 1 bis 4 Amp. auf das kg Elektrodengewicht wechseln; sie muss angehalten werden, wenn die Spannung auf 1,7 V gesunken ist.

Anfängliche EMK 2,4 V.

Kapazität per kg Elektrodengewicht 20 Amp.-Stunden.

g. Mit weichem Blei. Man schmelze in einem eisernen Gefäss das nötige Blei und füge hierauf so viel Queksilber hinzu, dass das Amalgam nach der Erhaltung sich leicht mit der Hand kneten lässt. Dieses Amalgam wird in gleichmässigen Schichten auf den Flächen der vorher amalgamierten Platten verteilt, nachdem das Quecksilber abgetropft ist. Das Amalgam haftet an den Platten fest, der galvanische Primärstrom treibt das Quecksilber mit fortschreitender Formierung aus und letzteres findet man fast vollständig auf dem Boden des Behälters.

h. Mit halbfestem Elektrolyt. Man verwendet Schwefelsäure von 1,22, Wasserglas von 1,20 specif. Gewicht und Asbestfasern. — Reine Handelsschwefelsäure wird mit 3 Teilen Wasser gemischt. — Das Wasserglas wird von Chlor befreit, indem man es mit demselben Volumen Wasser mischt, die Mischung in ein eisernes Gefäss giesst, in dieses ein Thongefäss stellt, dieses mit kaustischer Sodalösung von 1,25 spec. Gewicht füllt und darein eine Platte von Eisenblech stellt. Schickt man nun einen galv. Strom hindurch, so wird das Chlor von der Soda-

lösung absorbiert. — Eine Asbesttafel wird zerzupft und die Fasern werden 1 bis 2 Stunden in verdünnter Schwefelsäure gekocht und der erhaltene Teig gut mit Wasser ausgewaschen.

Zu 18 Liter der Säure von 1,22 spec. Gew. fügt man in einem Glasgefäss 450 g noch feuchte Asbestfasern und rührt, bis eine homogene Masse entsteht Dann setzt man rasch unter Umrühren $4^1/_2$ Liter Wasserglaslösung von 1,20 spec. Gewicht zu und rührt weiter, bis die Mischung ein ölartiges Ansehen hat und füllt sodann die Elemente auf, deren Platten vorher mit Säure getränkt sind. Der Widerstand der Masse ist beinahe doppelt so gross als der der Säure. — Von Zeit zu Zeit giesst man etwas verdünnte Säure über die Masse. Besitzt die Zelle keinen Deckel, so giesst man zweckmässig geschmolzenes Paraffin auf; eine Öffnung zum Entweichen der Gase und zum Nachfüllen muss bleiben.

Das Einbauen der Tudorplatten.

In das sauberst gereinigte Glas- oder mit Blei ausgeschlagene Holzgefäss werden zwei Stützscheiben, Glasscheiben, (Fig. 65a G.), eingesetzt; diese sind unten in paraffinierte, ausgenutete Stützhölzer oder in aufgeschnittene Gummischläuche S so eingesetzt, dass die Bruchkante der obern Schnittfläche nach aussen zu kommt, weil die Schnittkante fein gezackt ist. Auf diese Stützscheiben werden die beiden äussersten Platten

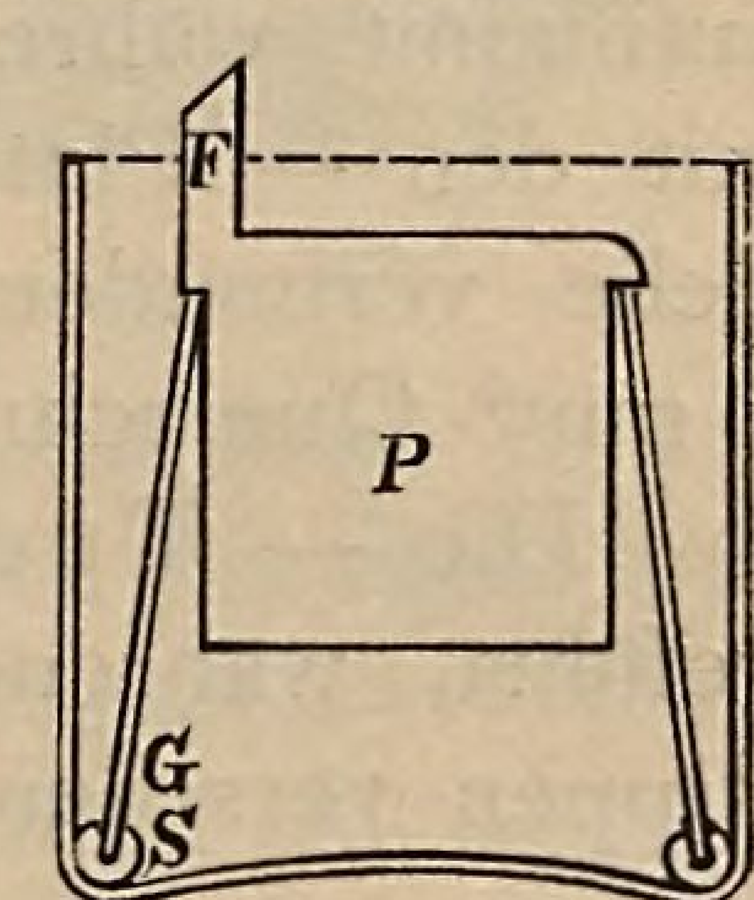


Fig. 65a.

(P) mit ihren Nasen gestellt und der Reihe nach

nach innen eingehängt. Die zwischen die Platten gestellten Glasröhren reichen auf den Boden des Gefässes. — Der — Endpol der Batterie soll dem Schaltbrett am nächsten und die — und + Pole an beiden Enden liegen; ferner sollen an keiner Stelle Zellen von hohem Spannungsunterschied neben einander gesetzt werden.

Verbindung der Accumulatorenzellen.

Zwischen 4 negativen Platten hängen in jeder Zelle 3 positive Platten (Fig. 60). Der Abstand der Platten wird durch an Enden derselben zwischengeschobene Glasrohre gesichert, welche in halbrunden Nuten der negativen Platten geführt werden.

Die + Platten sind nach der einen Seite vermittelst angegossener Lappen (Fahnen, Fig. 60) verlängert und mit einer gemeinschaftlichen Bleileiste verlötet, während die — Platten auf der andern Seite der Zelle in gleicher Weise mit einer Bleileiste verbunden sind.

Die — Bleileiste ist so lang, dass sie gleichzeitig die + Platten der links davon befindlichen Zelle aufnimmt, während die + Bleileiste in gleicher Weise mit den — Platten der rechts davon befindlichen Zelle verbunden ist. Bei den Bleileisten werden 6 mm^2 Querschnitt auf 1 Amp. gerechnet.

Die — Tudor-Platten sind gitterförmig ausgeführt, während die + Platten mit horizontalen Rippen versehen sind.

Ein Taschenaccumulator und Briquet de Saturne.

(Fig. 66.) Um Glühlämpchen kleinster Sorte, die einen Strom von nur 1,5 bis 2 Volt erfordern, auf

einige Zeit erglänzen zu lassen, genügt ein Taschen-Accumulator oder auch zwei kleine Trockenelemente. Man kann das Gefäss zu einem solchen Sammler zwar aus Holz, vorteilhafter aber aus Guttapercha anfertigen. Wenn man die Platte dazu nicht fertig beziehen kann, so erwärmt man die Masse in warmem Wasser, dem etwas Seife zugesetzt ist und wellt daraus eine grössere Platte von etwa 3 mm Dicke, schneidet hiervon ab 2 Plättchen von 10 cm Breite und 15 cm Länge, dann 2 Plättchen von 3 cm Breite und 15 cm Länge und endlich noch 2 Plättchen von 3 cm Breite und 10 cm Länge. Über einem passend geformten Brettchen fügt und bindet man diese Stücke zusammen (den Deckel ausgenommen) und lötet, indem man mit einem warmen Eisen über die Kanten fährt. Zwei dünne Bleiplättchen rollt man nach Art des Planté'schen Sammlers mit zwischen gelegten Kautschukstreifen nach Fig. 63, streift den Deckel über die Bleifahnen und lötet diesen auf. Durch eine Öffnung des Deckels wird das angesäuerte Wasser eingegossen. Es ist gut, wenn man die Formation vor dem Einlegen der Bleiplatten ausführt und sich die ungefähre Dauer der Ladungen und Entladungen merkt.

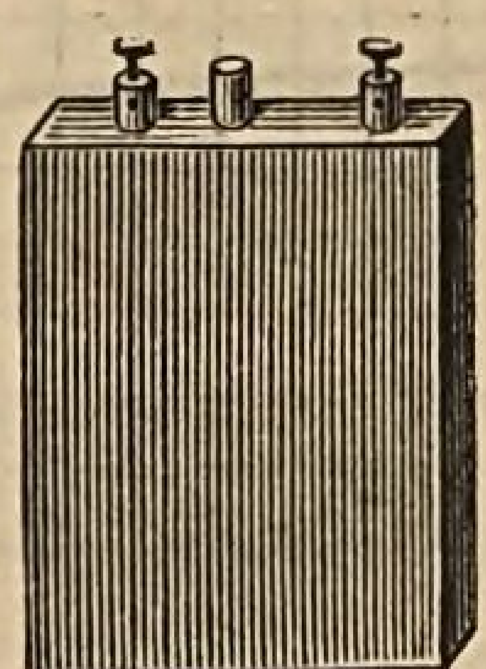


Fig. 66.

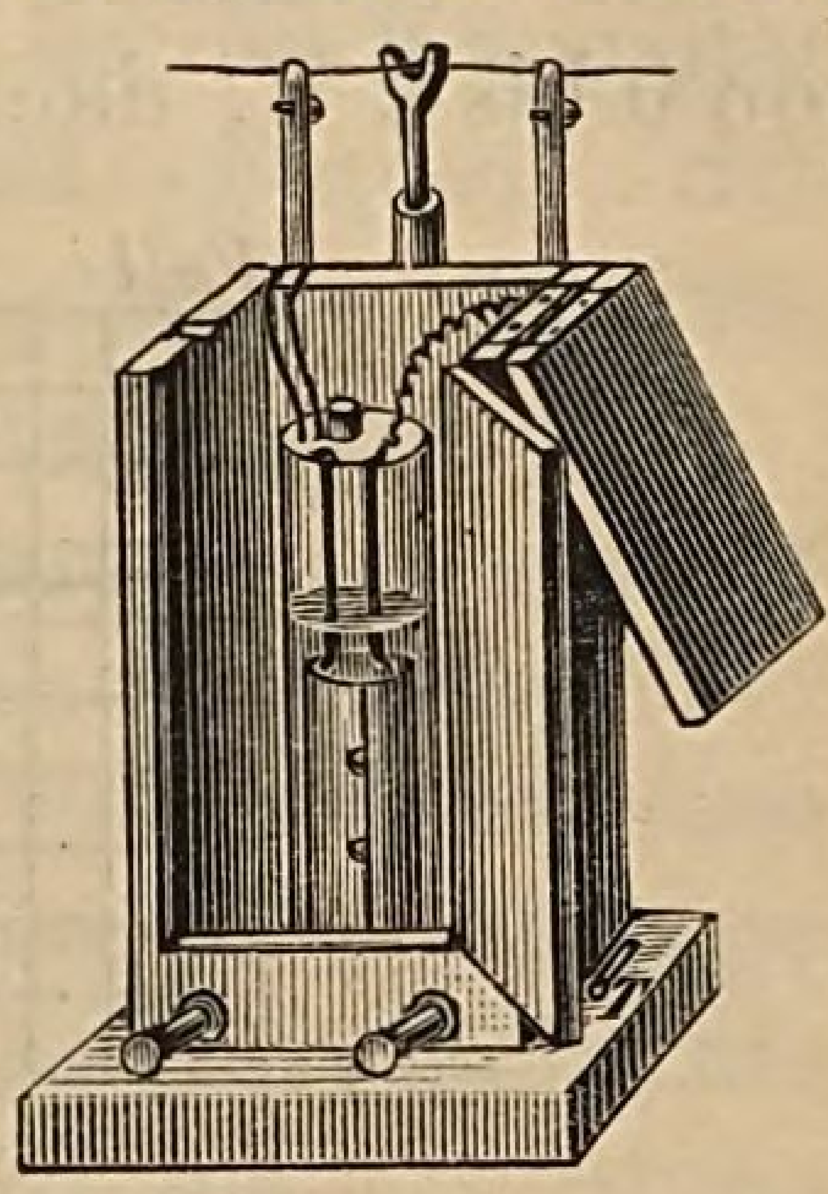


Fig. 67.

In dem Briquet de Saturne (Fig. 67) ist zwischen zwei Klemmen ein feiner Platindraht ausgespannt; so oft man durch einen Druck auf die Feder

T am Bodenbrett des Kastens einen Kontakt herbeiführt, schickt das im Kästchen befindliche Element einen Strom durch den Draht, macht diesen glühend und entzündet dadurch eine kleine Kerze. Dieses kann etwa 100 mal geschehen, ehe eine Neuladung des Elements erforderlich ist. Es wird von 3 Daniell-Elementen geladen und hat eine Bleioberfläche von etwa 8 dm^2.

Regeln und Formeln.

a. Spannung. Eine Sammelzelle liefert, welches auch die Grösse der Oberfläche ihrer Elektroden sein mag, bei der Entladung eine Spannung von etwa 2 Volt. Während der Ladung steigt die EMK rasch von 0 bis 2 V, dann langsam bis 2,2 V und die Zelle

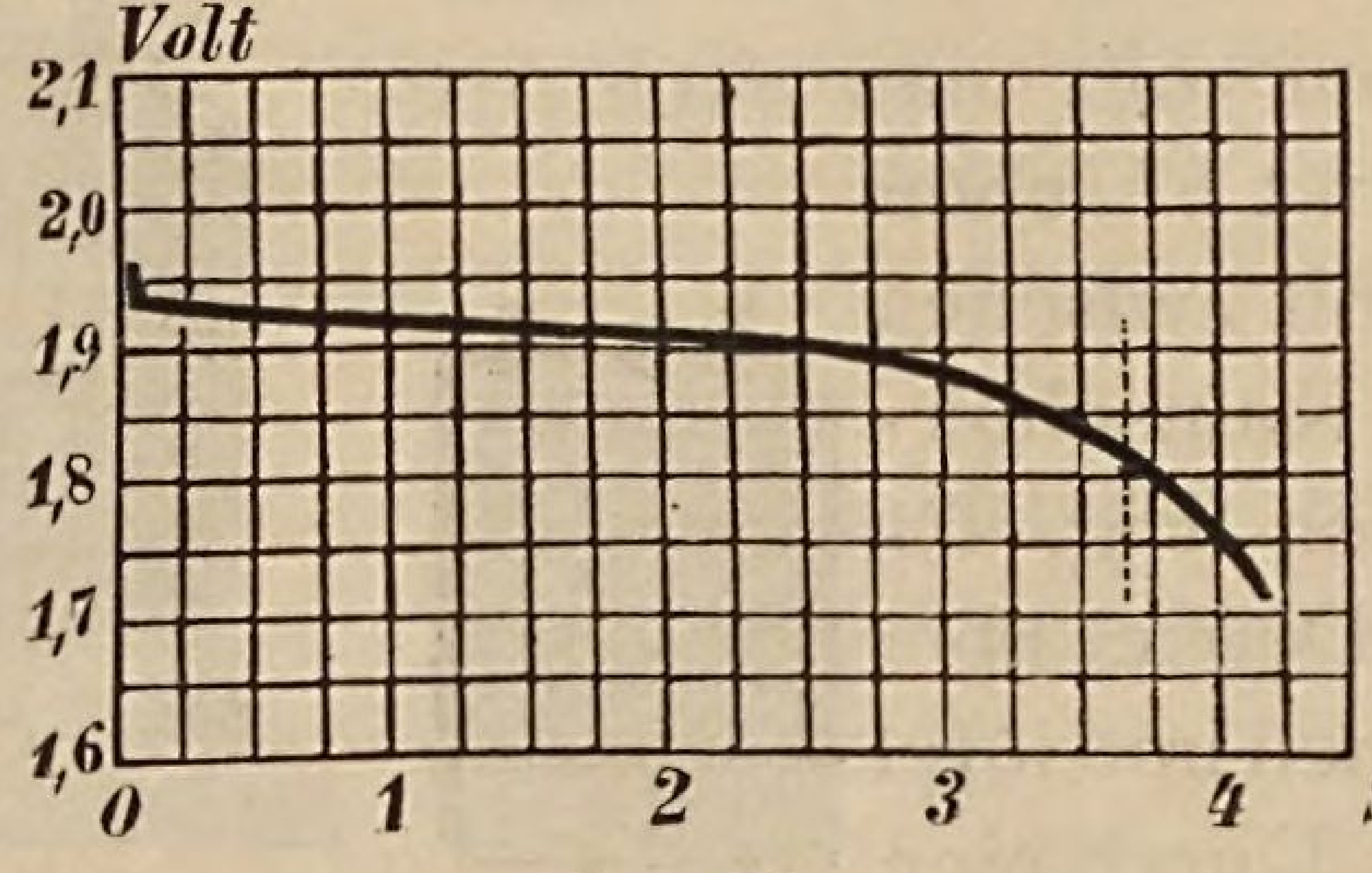


Fig. 68.

beginnt zu kochen, d. h. es erheben sich Gasblasen und zwar zuerst an den +Platten. Von da an fällt bei der Entladung die EMK stetig bis 1,85 V, dann aber rasch; man hat also bei 1,85 V mit der Entladung aufzuhören, um die Zelle nicht zu beschädigen. Die Grenze der Entladung ist durch die vertikale gestrichelte Linie in Fig. 68 bezeichnet.

b. Stromdichte ist der auf die Einheit der Plattenoberfläche entfallende Betrag der Stromstärke. In einem gut formierten Sammler kommen auf 1 m^2 positiver Elektroden 60 Ampère-Stunden, d. h. er giebt in 1 Stunde 60 Amp. ab, oder in 2 Stunden 30 Amp. oder in 60 Stunden 1 Amp. Dies gilt aber nur, wenn die Zellen auf Menge geschaltet sind.

Sind die Zellen auf Spannung verbunden, z. B. 5 Zellen, und hat jede Zelle eine positive Elektrode von $\frac{1}{4}$ m^2, so wird die Batterie einen Strom von $5 \cdot 2 = 10$ V und von $\frac{60}{4} = 15$ Ampère-Stunden liefern; wären diese Zellen dagegen auf Menge verbunden, so erhielte man einen Strom von 2 V und $5 \cdot 15 = 75$ Amp.-St.

„Bei Schaltung auf Spannung ist die Kapazität (Aufnahmefähigkeit) einer Sekundär-Batterie der Oberfläche einer Zelle proportional; bei der Verbindung auf Menge der Oberfläche aller Zellen."

Die Menge der elektrischen Energie, die in einer Zelle aufgespeichert wird, kann auch auf das Gewicht der Elektroden bezogen werden, insofern diese Elektricitätsmenge proportional ist der Menge der „aktiven Masse" und demzufolge dem Gewichte der Platten. In der Praxis rechnet man 5 Amp.-Stunden auf 1 kg. Platten. Eine Zelle von 1 kg Gewicht wird also während 5 Stunden einen Strom von 1 Amp. oder während 10 Stunden von 0,5 Amp. abgeben; sie besitzt somit eine Kapazität von 5 Amp.-Stunden. Drückt man das Produkt Stromstärke mal Spannung in Volt-Amp. oder Watt aus und die Zeit wieder in Stunden, so ergiebt sich die elektrische Arbeit in Wattstunden.

c. Änderung der Säuredichte bei Ladung und Entladung. Die chemischen Vorgänge während der Ladung und Entladung lassen die Flüssigkeit nicht unverändert. Durch Zersetzung des Bleisulfats bildet sich bei der Ladung eine gewisse Menge Schwefelsäure und umgekehrt findet bei der Entladung Wasserbildung statt. Diese Veränderungen werden durch Aräometer nachgewiesen. Z. B. beim Tudor-Accumulator steigt das spec. Gewicht von 1,115 auf 1,145. Der Säuregehalt nimmt auch von den oberen Schichten nach unten stetig zu; der Unterschied zwischen Oberfläche und Gefässboden beträgt etwa 2,5%. Das Aräometer soll darum zwischen Oberkante und Unterkante der Platten symmetrisch stehen.

d. Güteverhältnis. Man erhält das Güteverhältnis eines Accumulators, wenn man die bei der Entladung abgegebenen Ampère-Stunden durch die bei der Ladung aufgenommenen Ampère-Stunden dividiert. In gleicher Weise wird das Güteverhältnis der elektrischen Arbeit aus den Wattstunden gefunden.

e. Die Lebensdauer eines Accumulators ist die Zeit, während welcher seine Platten betriebsfähig sind. Sie hängt ab von der Dicke der Platten, von der Haftbarkeit der aktiven Masse, von der Reinheit der Säure, von der Ausdehnungsfähigkeit der positiven Platten (damit sie sich nicht werfen, werden sie aufgehängt) und insbesondere von der Behandlungsweise.

f. Für die Ladung gelten folgende Regeln: 1) Der Ladungsstrom sei in Amp. (1 Amp. auf 1 kg

Platten) ein wenig geringer (etwa um $\frac{1}{4}$) als der Entladungsstrom (1 bis 2 Amp. auf 1 kg Platten), übertreffe diesen aber an Spannung. Bei Ladung mit galvanischen Elementen schaltet man diese auf Spannung, 'die Sammelzellen auf Menge. Bei der Entladung schaltet man die Sammelzellen auf Spannung; die EMK einer Batterie wird mit der Anzahl der Zellen vervielfacht. Mit offenen Meidinger-Elementen ladet man am schnellsten, wenn die Zahl der hintereinander geschalteten Elemente das Vierfache beträgt von der Anzahl der hintereinander geschalteten Accumulatorenzellen.

Die erste Ladung ist beendet, wenn bei der höchsten zu erreichenden Spannung (2,65 V pro Zelle) der Säuregehalt während 4 Stunden nicht mehr steigt.

2) Die Ladungsquelle sei konstant, damit deren EMK nie unter die der Zellen falle und damit nie eine Rückströmung stattfinde; es ginge nicht allein die aufgespeicherte Elektricität verloren, die Elemente könnten sogar zerstört werden.

Ist die Ladungsquelle nicht konstant, wie bei Nebenschluss-Maschinen, so schaltet man einen selbstthätigen Unterbrecher ein. Ein solcher wird später beschrieben werden. Die Nebenschlussmaschine muss so bewickelt sein, dass sie pro Zelle 2,6 V Spannung zu liefern vermag.

g. Aufgaben. 1) Welches Gewicht muss eine Sekundär-Batterie haben, damit sie 30 Glühlampen von 100 V und 0,6 Amp. während 5 St. speisen kann? Antw. Da die Entladung nicht unter 1,85 V fallen soll, so sind $\frac{100}{1,85} = 54$ Zellen erforderlich. Wir

brauchen eine Elektricitätsmenge von $30 \cdot 0,6 \cdot 5 = 90$ Amp.-Stunden. Auf 1 kg ist ein 1 Amp. zu rechnen, somit wiegt eine Zelle $30 \cdot 0,6 = 18$ kg und die ganze Reihe $18 \cdot 54 = 972$ kg.

2) Welche Accumulatoren-Batterie liefert in 1 St. einen Strom von 12 V und 10 Amp.? Antw. 12 V verlangen 6 Zellen in Spannung geordnet. Für 6 Amp. braucht man für jede Zelle positive Elektroden von $\frac{1}{10}$ m^2 Oberfläche, z. B. 10 cm breit und 1 m lang.

3) Welches ist der Materialverbrauch, wenn hintereinander geschaltete Accumulatorenzellen mit hintereinander geschalteten Meidinger-Elementen geladen werden? Antw. 1 Amp. scheidet in 1 Stunde 1,181 g Kupfer ab und dieser Kupfermenge entsprechen 4,651 g Kupfervitriol und 1,213 g Zink. Soll daher die Batterie C Ampèrestunden liefern, so sind erforderlich $M = C \cdot p \cdot 4,651$ g Kupfervitriol und $M_1 = C \cdot p \cdot 1,213$ g Zink, worin p = Anzahl der Meidinger-Elemente.

Ein Umschalter für Stromsammler.

Jede gute Einrichtung von Stromsammlern verlangt, besonders wenn die Zellenreihe zahlreich ist, einen Umschalter, der während der Ladung die Zellen auf Menge und während der Entladung auf Spannung gruppiert, ohne dass man genötigt wäre, bei dieser Operation viel Zeit zu verlieren.

Der in Fig. 69 und 70 beigezeichnete Apparat besteht aus einem Grundbrett von Holz, an das an den Enden zwei Trägerbrettchen angeschraubt sind. Diese Seitenbrettchen tragen einen langen Holzcylinder von 5 bis 6 cm Dicke. Über jedes Ende dieser

Walze sind je 2 Kupferringe von 1 cm Breite isoliert von einander aufgeschraubt, es gleiten auf ihnen Messing- oder Kupferfedern, die an einer Längsseite des Grundbrettes angeschraubt sind. Die einen dieser Federn führen den Ladungsstrom zu den Ringen

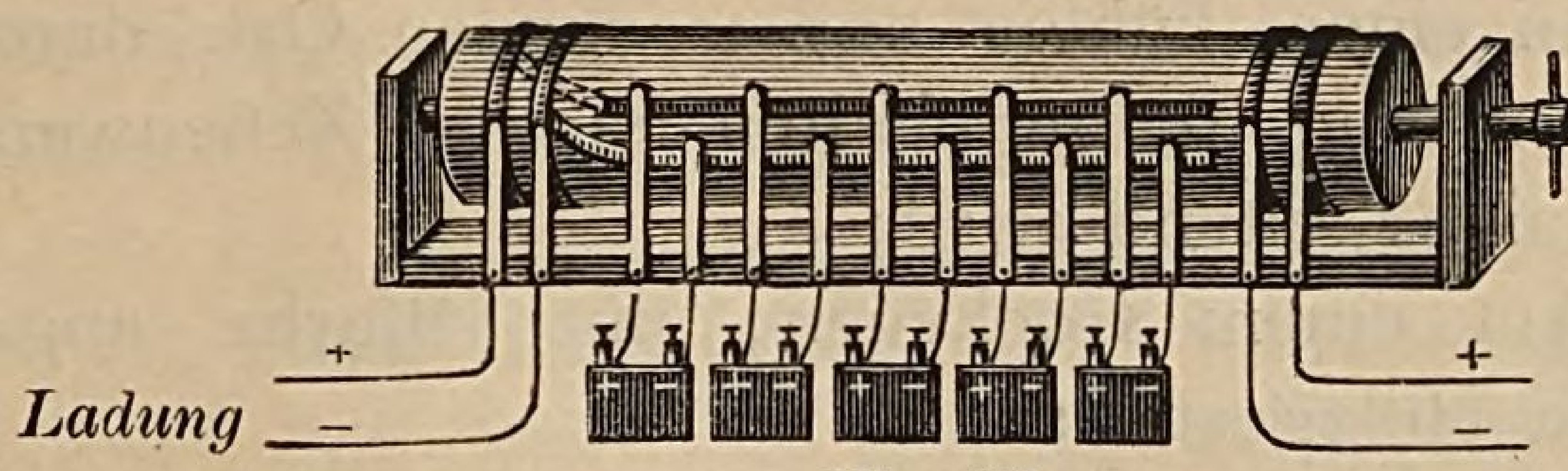


Fig. 69.

und diese verteilen ihn mittels Längsstreifen in die Zellen. Alle Federn, welche den positiven Strom zuleiten, lehnen sich an den oberen Mantelstreifen an und alle Federn, welche den negativen Strom zuführen, berühren den unteren Mantelstreifen.

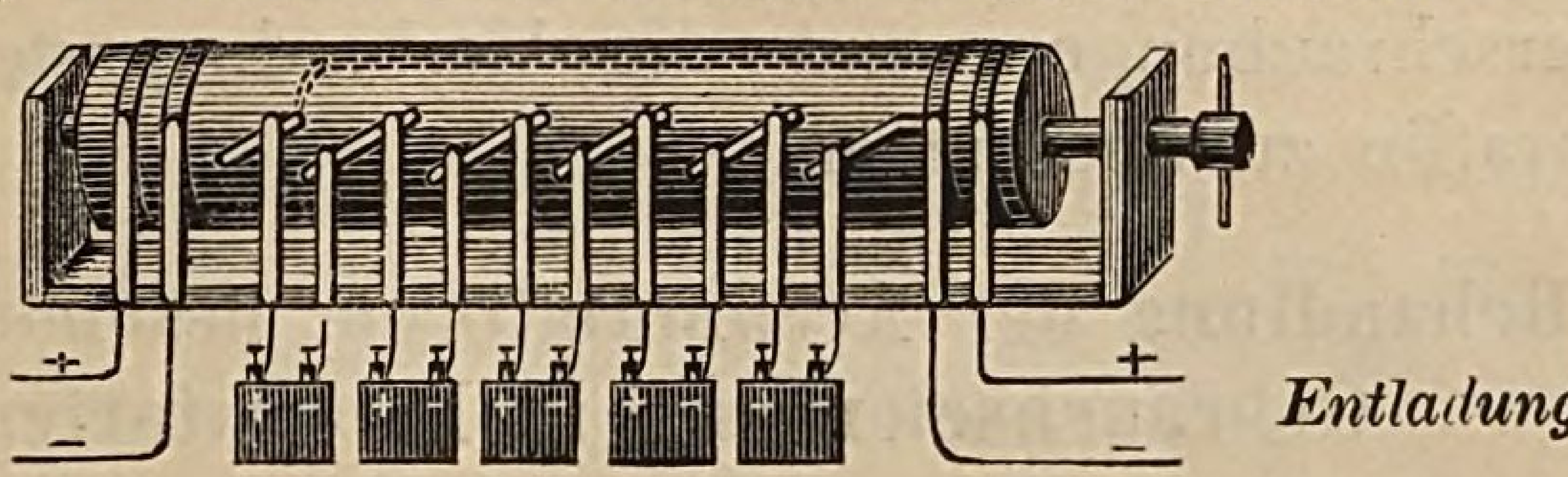


Fig. 70.

Ist die Ladung beendigt, so dreht man den Holzcylinder um 180°. Die Federn lehnen sich dann an die schief auf die Walze befestigten Kupferstreifen, von denen der erste und letzte mit den auf der rechten Seite befindlichen Ringen in Verbindung stehen. Die an diesen Ringen schleifenden Federn führen nun den auf Spannung geschalteten Strom der Zellen in den äusseren Stromkreis.

Ist die Entladung vollendet, so ist durch eine halbe Wendung der Apparat für die Ladung wieder

vorbereitet, ohne dass man ein galvanisches Element oder einen Leitungsdraht zu berühren gehabt hätte.

Aufstellung der Accumulatoren.

Darüber gelten folgende Vorschriften:

1) An einem kühlen und trockenen Ort, damit die Verdunstung hintangehalten und die Zellenwand (Gläser) nicht leitend wird;

2) Auf einem trockenen, mit Ölfarbe angestrichenen Holzgestell;

3) In Reihen, so dass jede einzelne Zelle leicht zugänglich ist;

4) Auf Porzellanfüssen mit zwischen gelegten Kautschukstücken;

5) Die einzelnen Zellen sind durch Bleilötung mittels der Wasserstoffgasflamme zu verbinden, bei Verschraubungen sind die Verbindungsstellen mit Paraffin zu überziehen.

Behandlung der Accumulatoren, besonders als Gebrauchselemente in Laboratorien.

Über diesen Gegenstand giebt W. Kohlrausch folgende übersichtlich geordnete Anleitung:

1) Nach dem Einfallen der Säure ist sogleich zu laden.

2) Der Entladung soll möglichst bald eine Neuladung folgen; längeres Stehen im entladenen Zustand ist unbedingt zu vermeiden. Jeder Fehler einer Zelle giebt sich durch das Ausbleiben der Gasentwicklung zu erkennen.

3) Das specifische Gewicht der Säure soll im ungeladenen Element 1,11 bis 1,15 sein und beim

Laden auf 1,15 bis 1,2 steigen, dabei die Spannung auf 1,9 bis 2,45 Volt gehen. Es ist auf 80 % der Ladungsarbeit zu rechnen. Die Säure soll die Platten ganz bedecken und ganz rein sein; die verunreinigenden Metalle werden durch Schwefelwasserstoff oder Rüböl entfernt. — Das Säure-Volumen sei mindestens gleich dem Platten-Volumen.

4) Ein Strommesser soll stets in die Accumulatoren-Leitung eingeschaltet sein, und das specifische Gewicht der Säure mit dünnspindeligen Aräometern von Zeit zu Zeit gemessen werden.

5) Je kleiner die Stärke des Ladungsstromes ist, desto höher steigt die Kapazität der Sammler. Eine vollständige Entladung mit schwachem Strom soll vermieden werden. Während einer längeren Ruhezeit ist gelegentlich einmal eine normale Ladung vorzunehmen.

6) Für Nachfüllen der Elemente muss man unter Rücksichtnahme auf die Dichte der Säure rechtzeitig Sorge tragen. Geladene Sammler soll man nicht entleeren, weil die positive Elektrode an der Luft oxydiert und sich dabei erwärmt; bei frischer Füllung geben sie daher auch nicht die versprochene Ampère-Stundenzahl, erholen sich jedoch sofort, wenn sie mehrere Stunden lang stark überladen werden, d. h. wenn die Ladung weit über die normale Grenze fortgesetzt wird.

7) Zum Laden verwende man Nebenschlussmaschinen oder lasse die Dynamomaschine auf einen gewissen Widerstand anlaufen oder vielmehr schalte man einen selbstthätigen Unterbrecher ein.

8) Zur Ladung und Schaltung einer Batterie

von mehreren Zellen auf verschiedene Spannungen richtet man (Fig. 71) ein Schaltbrett ein, das einen Umschalter, einen Strom- (Ampère-) und Spannungs- (Volt-) messer, einen Stromrichtungsanzeiger und einen Rheostaten oder Widerstand enthalten kann.

Nimmt die Stromstärke ab, so schaltet man mittels des Zellenschalters allmählich die Reservezellen ein. (Fig. 71.)

Eine Lichtanlage, Fig. 71.

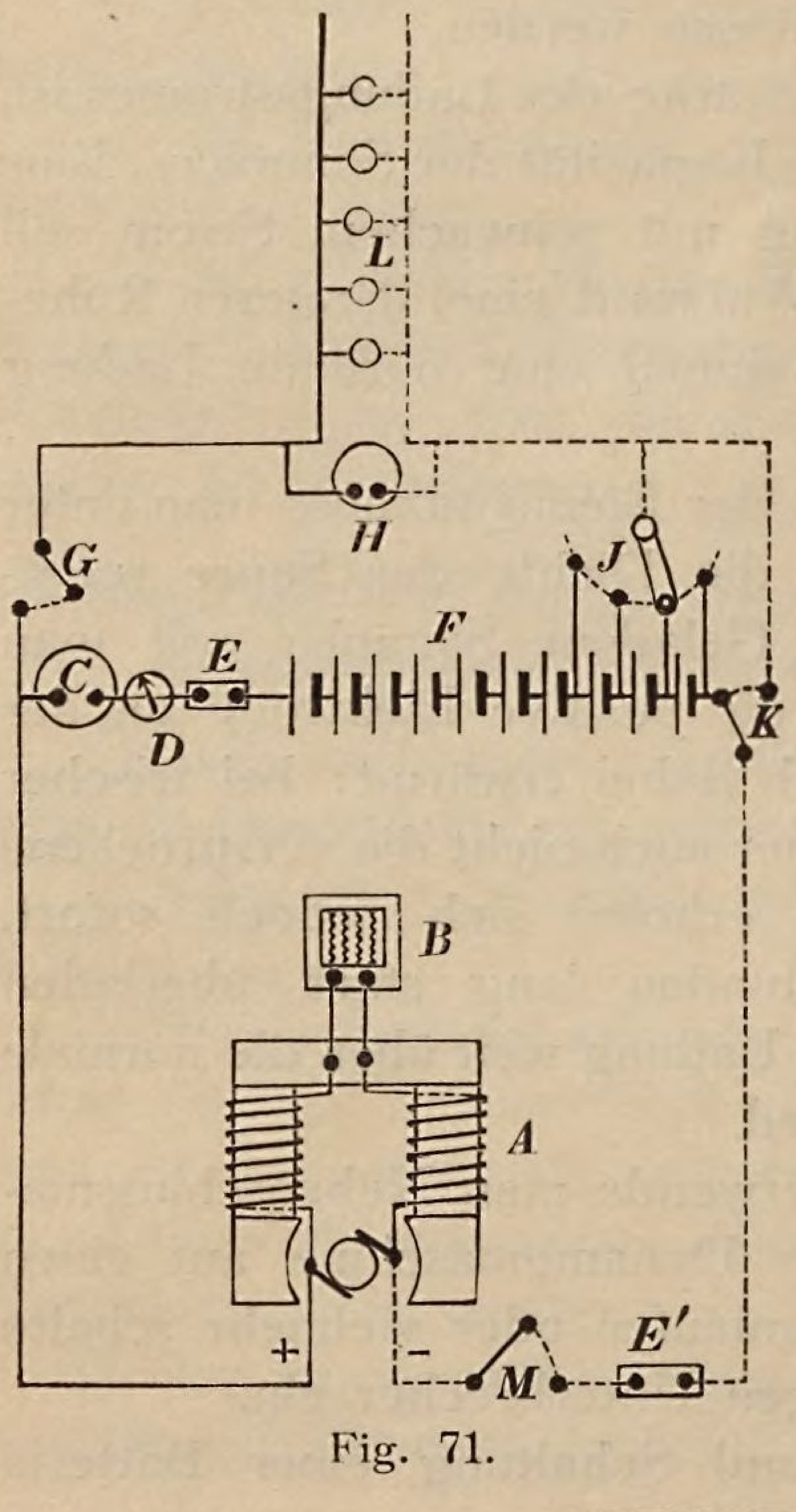


Fig. 71.

A Nebenschluss-Dynamomaschine,
B Nebenschluss-Regulator,
M Selbstausschalter,
E E' Bleisicherungen,
C Ampère-Messer,
G Umschalter für Ampère-Messer,
K Maschinenumschalter,
F Accumulator,
I Einfach Zellenschalter,
H Voltmesser,
L Lichtleitung.
D Richtungsanzeiger.

Kapitel III.

Maass der Stromstärke. Messinstrumente.

Die Stärke eines elektrischen Stromes

kann nur auf indirekte Weise gemessen werden; es ist unmöglich, die Elektricitätsmenge, die durch einen Leiter fliesst, so zu bestimmen, wie man die Wassermenge misst, die durch eine Rohrleitung strömt.

Um die Stärke eines Stromes in Ampère abzuschätzen, gründet man sich auf die chemischen oder mechanischen Wirkungen, die der Strom in einem Leiter oder um denselben äussert.

Die verschiedenen anzuwendenden Methoden lassen sich auf drei Beobachtungsarten zurückführen.

1) Man wiegt die Mengen eines chemisch zusammengesetzten Stoffes, welchen der Strom in einer gegebenen Zeit zersetzt.

2) Man schätzt die Stärke des vom Strom erzeugten magnetischen Feldes, indem man dessen Wirkung auf eine bewegliche Magnetnadel oder auf ein Stück weichen Eisens bestimmt.

3) Man misst die Grösse der Wirkung, die ein fester Strom auf einen beweglichen Strom ausübt.

Maass der Stärke eines Stromes aus seiner chemischen Wirkung.

Wenn ein Strom durch einen zersetzbaren Körper fliesst, so ist das Gewicht der ausgeschiedenen Bestandteile der Elektricitätsmenge, welche in einer gegebenen Zeit hindurch gegangen ist und demzufolge auch der Stromstärke proportional. Gesetz von Faraday 1833.

Sind m und m' die Gewichtsmengen desselben Elektrolyts (zersetzbaren Stoffes, lysis = Trennung), welche durch die Stromstärken J und J' in der gleichen Zeit ausgeschieden werden, so ist

$$J : J' = m : m'.$$

Unter Zugrundlegung dieses Gesetzes kann man die Stromstärke im allgemeinen mittels eines Voltameters dadurch messen, dass man eine Stromstärke J, welche in einer bestimmten Zeit (z. B. 1 Minute) eine bestimmte Menge eines Körpers (z. B. Wasser) zersetzt, als Einheit annimmt und in derselben nach obiger Proportion eine andere Stromstärke J' ausdrückt.

Die gebräuchlichsten chemischen Maasseinheiten sind:

1) 1 cm^3 Knallgas in der Minute, d. h. diejenige Stromstärke gilt als Einheit, welche in 1 Minute 1 cm^3 Knallgas ausscheidet (cm^3 = Kubikcentimeter.)

2) 1 Milligramm Wasserstoff in 1 Minute.

3) 1 Milligramm Wasser in 1 Minute.

4) 1 Milligramm Kupfer in 1 Minute.

5) 1 Milligramm Silber in 1 Minute.

Die Beziehungen dieser chemischen Maasseinheiten unter einander giebt folgende Tabelle:

In 1 Minute	Wasserstoff H mg	Wasser H_2O mg	Silber Ag mg	Kupfer Cu mg	Knallgas $H_2 + O$ cm³	Ampère
1. 1 mg Wasserstoff H =	1	9	108	31,7	16,78	1,61
2. 1 mg Wasser H_2O =	0,11	1	12	3,52	1,86	0,179
3. 1 mg Silber Ag =	0,00926	0,0833	1	0,294	0,155	0,0149
4. 1 mg Kupfer Cu =	0,0315	0,284	3,406	1	0,529	0,0508
5. 1 cm³ Knallgas $H_2 + O$ =	0,0596	0,5363	6,14	1,89	1	0,0958
6. 1 Ampère =	0,621	5,60	67,08	19,68	10,44	1

Maass der Stärke des Stromes aus seiner chemischen Wirkung.

a. Wasservoltameter.*) Ein anderes Voltameter als das früher schon angegebene lässt sich leicht aus einem oben ziemlich weiten Kelchglase und zwei Reagenzröhren anfertigen.

(Fig. 72.) Glasbohren. Am Boden des Kelches bohrt man zwei sehr enge Öffnungen einander gegenüber ein. Dies geschieht rasch von Hand. Eine dreikantige, rauh, sehr scharf und kurz zugeschliffene Nadelfeile wird hellrot bis weissglut erhitzt, sofort in

*) Jedes Gefässs oder jeder Apparat, der zur Ausführung und Messung der Elektrolyse verwendet wird, heisst ein Voltameter. Faraday 1835.

kaltem Wasser abgekühlt; sie wird so hart, dass sie zum Metallbohren zu brüchig wäre. Diese Spitze oder auch die Spitze einer scharf und uneben abgebrochenen, sehr harten Feile wird unter stetem Befeuchten mit einer Lösung von Kampfer in Benzin oder Terpentinöl von Hand unter leichtem Druck über der zu bohrenden, durch Kreuzschnitte mit einer Feile bezeichneten Stelle hin- und hergedreht; ist die Öffnung am Durchbrechen, so drücke man sehr schwach, drehe langsam und halte von innen ein Stückchen Holz vor die Durchbruchstelle.

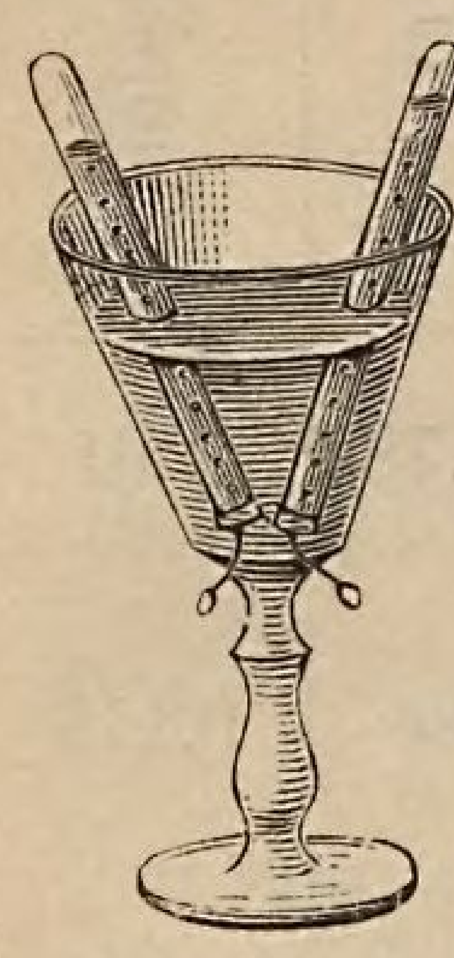


Fig. 72.

In diese Öffnungen kitte man kurze Platindrähte mit Wachs oder mit eingefülltem Gipsbrei und tränke diesen nach dem Trocknen mit einer dünnen Schellacklösung oder geschmolzenem Paraffin.

Wer das Glasbohren umgehen will, wird die Platindrähte mittels Kork- oder Gummistopfen in einen Glastrichter einführen, den Trichter in eine Drahtschleife setzen und den Drahtring in einen Holzständer mit Grundbrett befestigen.

Man füllt nun Kelchglas und Reagenzröhren mit einer Mischung vom specifischen Gewicht 1,1 (1 Gewichtsteil Schwefelsäure auf 4 G. T. Wasser, oder 1 Raumteil Schwefelsäure und 7,5 R. T. Wasser), drückt den Daumen oder Zeigefinger über die Röhre und entfernt den Finger erst unter der Oberfläche des Becherglases.

Die positive Elektrode zieht den Sauerstoff herbei, die negative den Wasserstoff (Wasserzersetzung und Stromsammler). Den Sauerstoff erkennt man

daran, dass er ein glühendes Zündhölzchen zur Flamme anfacht, und den Wasserstoff daran, dass er mit bläulicher, schwach sichtbarer, aber sehr heisser Flamme brennt.

Zur Wasserzersetzung ist eine EMK von 3 bis 4 Volt erforderlich. Je mächtiger der Strom ist, desto rascher geht die Zersetzung, Elektrolyse, vor sich. Die Benennung Voltameter weist darauf hin, dass man mit diesem Apparat die Stärke eines Stromes messen kann nach der Regel:

> „Die Zahl der in einer Sekunde ausgeschiedenen cm^3 Knallgas, mit 5 multipliziert, giebt die Stromstärke in Ampère an.“

Die auffangende Glasröhre kann in folgender Weise in cm^3 eingeteilt werden: Leime einen Streifen Pauspapier längs der Röhre auf, hänge die Röhre an einem Arm der Wage auf, tariere (d. h. stelle durch Auflegen von Gewichten in der andern Schale das Gleichgewicht her), lege dann noch 1 g ein, giesse aus einer Pipette (auf einer Seite eng ausgezogene Glasröhre) Wasser in die Röhre, bis das Gleichgewicht hergestellt ist, bezeichne mit Bleistift den Stand des Wassers u. s. w. Die halben cm^3 findet man ungefähr durch Halbierung der bezeichneten Abstände. Ein cm^3 Wasser wiegt bekanntlich 1 g.

Man könnte die ausgeschiedenen Gase, sowie die Menge des zersetzten Wassers, auch wägen: 37 mg Wasserstoff und 0,336036 g Wasser entsprechen einer Ampère-Stunde, d. h. diese Mengen werden in 1 Stunde durch die Stromstärke von 1 Amp. ausgeschieden oder zersetzt. — 1 l Wasser giebt beim

gewöhnlichen atmosphärischen Druck und 20° C. 2 m³ Knallgas.

Nimmt man zu Elektroden dünne Eisen- oder Platinbleche, die man mittels Kork in einem Glastrichter befestigt, und füllt den Trichter mit Seifenwasser auf, das durch Zusatz von Ätzkali leitend gemacht ist, so bilden sich auf der Oberfläche Blasen von Knallgas, die man mit einem brennenden Zündhölzchen anzünden kann.

b. Kupfervoltameter. (Fig. 73.) Ersetzt man im Wasservoltameter das angesäuerte Wasser durch eine Lösung von Kupfervitriol, so begiebt sich das Metall zur negativen Elektrode (Kathode, absteigender Strom) und die Säure zur positiven Elektrode (Anode, aufsteigender Strom) und löst allmählich die Kupferplatte auf, so dass die Lösung an Gehalt nicht ärmer wird. Der zersetzte Körper heisst Elektrolyt und die getrennten Bestandteile Jonen. Diese suchen sich infolge ihrer chemischen Verwandtschaft wieder zu vereinigen und es entsteht hieraus eine EMK, die derjenigen der Elektricitätsquelle entgegenwirkt. Die Grösse dieser elektromotorischen Kraft der Polarisation hängt von der Natur der zerlegten Stoffe ab (S. 18 bis 20).

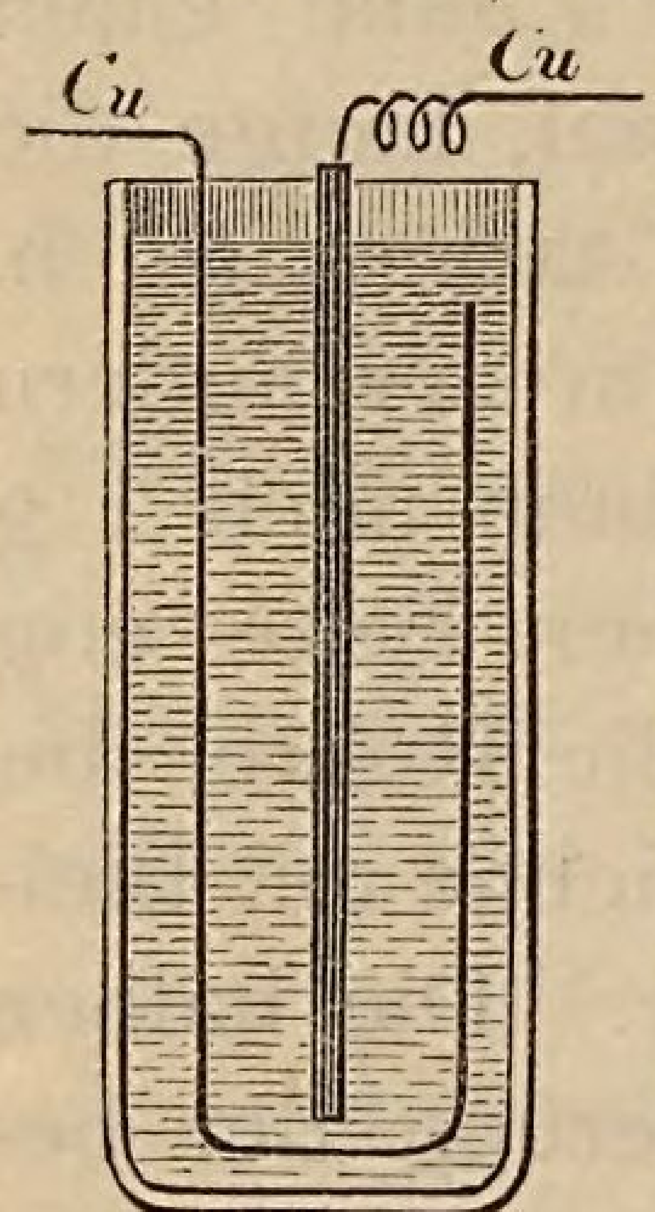


Fig. 73.

Damit Elektrolyse, Zersetzung, stattfinde, muss die EMK der Elektricitätsquelle grösser sein als die Gegenkraft. Ein einzelnes Daniell-Element vermag daher keine Wasserzersetzung zu bewirken; es sind

dazu mindestens 2 Bunsen- oder 3 Daniell-Elemente erforderlich. (S. 117.)

Das Metall, das sich Molekül für Molekül auf der Kathode ablagert, nimmt deren Form an, und löst man den Niederschlag nach einiger Zeit ab, so ist er der vollkommene Abdruck der negativen Elektrode. Auf dieser Erscheinung beruht die 1839 von Jakobi u. Spencer erfundene Galvanoplastik.

Faraday, Kohlrausch und andere haben aus Versuchen gefunden, welche Mengen ein Strom von der Stärke eines Ampère in der Sekunde ausscheidet. Man nennt diese Mengen elektrolytische oder elektrochemische Äquivalente. S. umstehende Vergleichungstabelle.

Will man nun einen konstanten Strom messen, so schaltet man in seinen Kreis ein Kupfervoltameter ein, dessen Elektroden Platin- oder Kupferbleche sind, fügt dessen gesättigter Lösung, um die Leitungsfähigkeit zu erhöhen, noch 5% Schwefelsäure zu, wiegt den auf der negativen Platte erhaltenen Niederschlag in g und teilt diese Zahl durch die Anzahl der Sekunden und durch 0,0003281.

Eine andere Lösung für das Kupfervoltameter:

15 g kristallisierter Kupfervitriol,
5 g konzentrierte Schwefelsäure,
5 cm^3 Alkohol,
100 cm^3 Wasser.

Die Oberfläche der Elektroden muss genügend gross sein, damit die Stromstärke auf das dm^2 3 Amp. nicht übersteige; überschritte sie diese Grenze, so würde der Niederschlag nicht anhaften, ein Teil zu Boden fallen und so dem Wägen entgehen.

Elektrolyse.

Name	Zeichen	Atomgewicht	Chemisches Äquivalent	Elektrochem. Äquivalent 1 Amp. scheidet aus in 1 Sek. in mg	1 Amp. scheidet aus in 1 Stunde g.	Ampère-Stunden auf 1 kg.	Specifisches Gewicht.
Aluminium	Al	27,04	9,013	0,09361	0,3370	2967,3	2,603
Blei	Pb	206,39	103,195	1,0718	3,8584	259,2	11,37
Eisen	Fe	55,88	27,94	0,2909	1,047	955	7,88
Gold	Au	196,7	65,57	0,681	2,452	407,8	19,32
Kalium	K	39,03	39,03	0,4054	1,459	685,5	0,87
Kupfer	Cu	63,18	31,59	0,3280	1,1808	846,9	8,92
Natrium	Na	22,99	22,99	0,2388	0,8596	1163,3	0,978
Nickel	Ni	58,6	29,3	0,304	1,096	912,4	8,9
Platin	Pt	194,4	97,2	1,009	3,6324	275,6	21,5
Quecksilber	Hg	199,8	199,8	2,076	7,470	267,7	13,55
Silber	Ag	107,66	107,66	1,1183	4,026	248,5	10,53
Zink	Zn	65,1	32,55	0,3381	1,2172	821,5	7,15
Zinn	Sn	118,8	59,4	0,6169	2,221	450,2	7,29
Wasserstoff	H	1	1	0,010386	0,03739	26745	
Sauerstoff	O	15,96	7,98	0,0829	0,298	3355,7	

Bei 16° C u. 750 mm Barometerstand wiegt 1 cm³ vom Knallgas 0,536 mg; Wasserstoffgas 0,08952 mg; Sauerstoffgas 1,42908 mg.

Das Lippmann'sche Galvanoskop Fig. 73a ist ein sehr empfindlicher Elektricitätsanzeiger. Eine rechtwinklig oder U-förmig gebogene enge Glasröhre wird einerseits spitz ausgezogen, durch einen Kork in ein Glasgefäss gebracht, das Quecksilber und Schwefelsäure enthält, so dass die Glasspitze bedeckt ist; auch in die Glasröhre wird Quecksilber eingefüllt; Platindrähte, zum Quecksilber im Gefäss und zu dem in der Röhre geführt, leiten den Strom zu und ab.

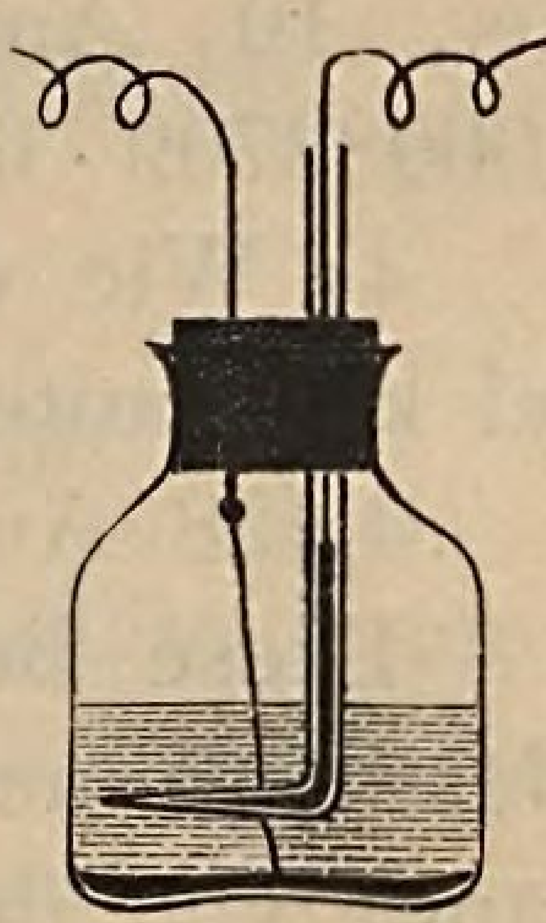


Fig. 73a.

Dieses Galvanoskop zeigt auch Wechselströme und Spannungen von $\frac{1}{300}$ V an.

Aufgaben.

1) Ein Strom scheidet in 4 St. 25,5 M. 22,365 g Kupfer aus; welches ist seine Stärke?

Antw. Der Strom ist 15930 Sek. durchgeflossen, somit ist seine Stärke =

$$\frac{22,563}{0,00032709 \cdot 15930} = 4,29 \text{ Amp.}$$

Oder, da auf 1 Ampère-Stunde 1,177 g Niederschlag kommen, ist die gesuchte Stärke

$$= \frac{22,563}{1,177 \cdot 4,325} = 4,29 \text{ Amp.}$$

2) Welcher konstante Strom scheidet in einer halben Stunde 5 g Kupfer aus?

Antw. 1 Amp. scheidet aus in 1 St. 1,177 g, in $\frac{1}{2}$ St. 0,5855 g. Also auf

0,5885 g kommt 1 Amp.,

5 „ ? = 8,46 Amp.

3) Wie viel g Kupfer werden durch einen kon-

stanten Strom von 4 Amp. in 5 Stunden ausgeschieden?

Antw. 1 Amp. scheidet in 1 Sek. 0,00032709 g aus, 10 Amp. scheiden in 60 · 60 · 5 Sek. aus 0,00032709 · 60 · 60 · 5 = 237,24 g.

4) Wie viel Amp. werden 18 g Zink in $1\frac{3}{4}$ St. bei konstantem Strom niederschlagen?

4,428 Amp.

Diese Bestimmungsart ist für die Eichung von Messinstrumenten geeignet; die Dauer des Versuchs hängt von der Genauigkeit ab, die man erreichen will, die Fehler werden um so kleiner, je beträchtlicher der Niederschlag ist. In der Praxis genügt eine halbe Stunde für den Versuch.

5) Wie viel Silber kann man mit einem Strom niederschlagen, der $\frac{3}{5}$ g Wasserstoff erzeugt?

Antw. Auf 1 g H werden 108 g Ag ausgeschieden;
„ $\frac{3}{5}$ „ „ „ $108 \cdot \frac{3}{5} = 64{,}8$ g „

6) In demselben Stromkreis sind ein Silber- und ein Kupfervoltameter eingeschaltet. In 1 Stunde sind 54 g Silber niedergeschlagen; wie viel Kupfer?

Antw. 108 g Ag entsprechen 31,7 g Cu;
54 „ „ „ $31{,}7 \cdot \frac{1}{2} = 15{,}9$ Cu.

7) Welches Gewicht Zink wird in einer Batterie verbraucht, welche 60 g Silber aus einem Bad mit Silbernitrat ($NO_3\,Ag$) niederschlägt, wenn 20% ($\frac{1}{5}$) infolge von Unreinheit verloren geht?

Antw. 108 g Ag entsprechen 32,6 g Zn;

60 „ „ „ $\frac{32{,}6 \cdot 60}{108} = 18{,}11$ g Zn.

Daher $18{,}11 \cdot \frac{5}{4} = 22\frac{2}{3}$ g Zn.

8) Ein Strom schlägt 200 g Kupfer nieder;

welches Gewicht und Volumen Wasserstoff erzeugt dieser Strom?

Antw. 31,7 g Cu entsprechen 1 g H

200 „ „ „ $\frac{200}{31,7} = 6,3$ g H.

Auf 0,0895 g H kommt 1 Liter

6,3 „ „ „ $\frac{6,3}{0,0895} = 7,039$ l.

9) Leite aus den elektrolytischen Äquivalenten die chemischen durch Proportionen ab! Beispiele:

a. H in 1 Sek. 0,08309 g;

Ag „ „ „ 1,1183 „

0,08309 : 1,1183 = 1 : X; X = ca. 108.

b. H in 1 Sek. 0,08309 g;

Cu „ „ „ 0,4047 „

0,08309 : 0,4047 = 1 : X; X = 39,1.

Das Gewicht des ausgeschiedenen Wasserstoffes wird als 1 angenommen.

c) Das Zinkvoltameter benutzt Edison als Coulombzähler. Von einander isolierte Zinkplatten (Fig. 73) stehen in 20% Zinkvitriollösung. Der Strom scheidet am negativen Pol Zink und am positiven Schwefelsäure aus. Die Gewichtsabnahme der positiven Platte dient als Maass des Stromes. Ein Coulomb zersetzt in 1 Sek. 0,3371 mg Zink. Dieser Zähler ist in eine Zweigleitung eingeschaltet. Die Coulomb, mit der konstanten Spannung multipliziert, geben die elektrische Arbeit.

Maass der Stromstärke aus magnetischen Wirkungen. Galvanoskope (Romagnesi 1804, Örsted 1820).

Mit Galvanoskopen bezeichnet man, wie schon früher bemerkt, Apparate, deren Zweck nicht

sowohl die messende Bestimmung der Stromstärke ist — dies ist die Aufgabe der Galvanometer — als vielmehr das Anzeigen, dass ein elektrischer Strom vorhanden ist und in welcher Richtung er fliesst. Das ursprünglichste Galvanoskop besitzen wir in unserer Zunge, sie kann in Ermanglung eines besseren manchmal die Dienste eines Stromanzeigers ersetzen. Legt man nämlich den Leitungsdraht des einen Batteriepoles unter, den des anderen Pols auf die Zunge, so spürt man bei einer gewissen Stromstärke einen eigentümlichen Geschmack. Diese Prüfungsweise hat sogar eine gewisse Empfindlichkeit; es ist dabei zu empfehlen, den Strom öfters zu wechseln und zu öffnen und zu schliessen, weil so ein vorhandener Unterschied eher bestimmt werden kann. Indessen kann dieses Verfahren gesundheitsschädlich werden (S. 121 Lippmann).

Die Konstruktion der meisten Galvanoskope und Galvanometer beruht auf der Fernwirkung des elektrischen Stromes mittels seines magnetischen Feldes auf eine freischwebende Magnetnadel. Liegt der Rahmen (Fig. 74) AB CD in der Richtung des magnetischen Meridians (Richtung der Magnetnadel des Kompasses), so wirken auf die eingeschlossene Magnetnadel zwei Kräfte: die Richtkraft des Erdmagnetismus, die parallel mit AB wirkt und die Richtkraft des Stromes, die die Magnetnadel senkrecht zur ersteren zu bewegen strebt.

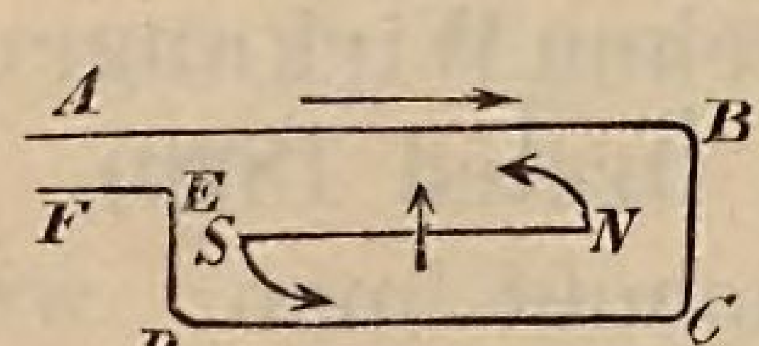


Fig. 74.

Man ersieht hieraus, dass die beiden magnetischen Felder (Wirkungskreise), das der Erde und das des Stromes, in einem

gewissen Verhältnis zu einander stehen sollen. (Vergl. Tangentenbussole, Versuche.)

Für Ströme von grosser Stärke (Starkströme) hat man Galvanometer anzufertigen, deren Rahmen aus einer geringen Anzahl sehr dicker Leiter besteht. Will man dagegen Ströme von geringerer Stärke messen, so muss man die Anzahl der Windungen um die Magnetnadel vermehren. Allein mit der Vermehrung der Windungen erhöht sich deren Widerstand. Man hat somit eine bestimmte Grenze einzuhalten, d. h. der Widerstand des Galvanometers muss zum Strom, in den er eingeschaltet wird, und zum übrigen Widerstand in einem bestimmten Verhältnis stehen. Um das Maximum der magnetischen Wirkung mit einem Galvanometer in einem einfachen Stromkreis zu erhalten, muss der Spulenwiderstand dem des übrigen Stromkreises gleich sein.

Zusammenfassung: Der Ablenkungswinkel der Magnetnadel ist bedingt:

1) durch die richtende Kraft des Erdmagnetismus;
2) durch die auf sie wirkende Stromstärke, und
3) durch die Entfernung des Leiters vom Magneten; die Drahtdicke und Windungszahl sind bedingt durch die durchströmende Elektricitätsmenge.

Anfertigung von Magnetnadeln.

Fig. 75. Die einfachste Magnetnadel lässt sich aus einer Näh- oder Stricknadel anfertigen, die man einigemal nach beiden Seiten hin je mit einem Pol eines Stahlmagnets bestreicht; man umschlingt sie

hierauf in der Mitte enge mit einigen Windungen eines dünnen Messing- oder Kupferdrahtes, wickelt dessen Enden übereinander, biegt einen Haken und hängt an einem Konkonfaden auf. Allein nur in wenigen Fällen, wenn besondere Empfindlichkeit verlangt wird, ist dies bequem, da über die Nadel samt Zubehör ein Glas zu stürzen ist.

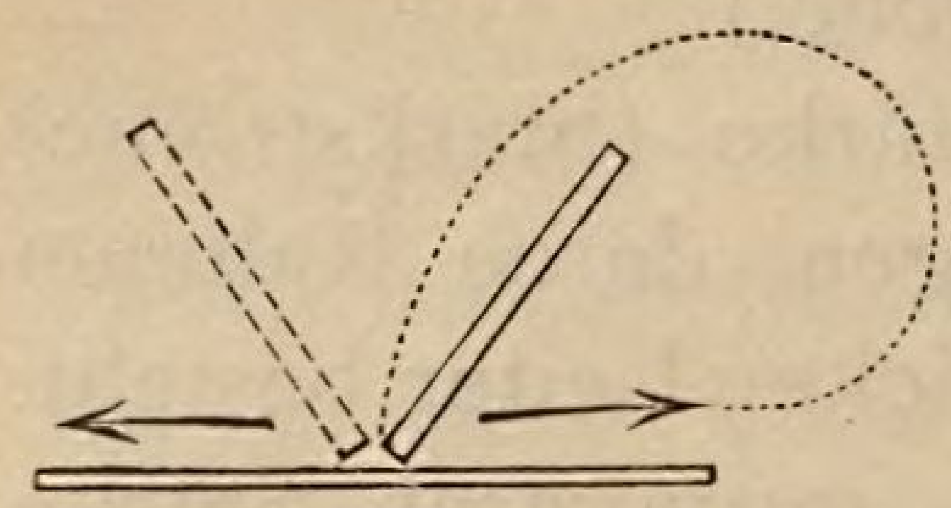


Fig. 75.

Noch ziemliche Beweglichkeit hat eine auf einer Nähnadel mit Glashütchen schwebende Magnetnadel. Diese fertigt man aus Uhrfedern an, aus denen man die erforderlichen Längen mit der Blechschere abschneidet und mit dieser auch zuspitzt. Ist die Feder blau, so kann man mit einem glasharten Stahlbohrer oder einer scharf abgebrochenen Feile mittels der schon angegebenen Auflösung von Kampfer in Benzin oder Terpentinöl ein Loch von 3 bis 4 mm Weite einbohren und darein ein Hütchen aus Glas über der Weingeistlampe mit Siegellack einkitten. Eine Glasröhre von 3 bis 4 mm Weite wird ausgezogen, die Spitze abgebrochen und unter beständigem Umdrehen ein Kegel so zugeschmolzen, dass er eine nicht zu scharfe, sondern leicht gewölbte, innere Spitze bekommt. Mit der Nadelfeile macht man 4 bis 6 mm von der Spitze ringsum einen Strich und bricht mit den Fingern ab. Bei einiger Übung wird man in kurzer Zeit einen Vorrat von verschieden weiten Hütchen gefertigt haben.

Minder empfindliche Nadeln erhält man, wenn man über die gebohrte Öffnung ein Messingplättchen

quer um die Feder legt und in dieses Plättchen mit einer Kernspitze (nicht ganz scharf zugespitzt) unter Umdrehen auf Blei eine Vertiefung eintreibt.

Anfertigung von Galvanoskopen.

a. (Fig. 76.) Auf ein Brettchen von 14 cm Länge und 12 cm Breite leimt oder schraubt man (Messingschrauben) ein Rähmchen von 11 cm innerer Quadratseite aus Leisten von 1 cm Breite und Höhe. Auf die Unterseite leimt man zwei solcher Hölzchen oder Korkstückchen als Füsse. Über das eine davon schraubt man die Polklemmen, die mit Holzschrauben versehen sind. Dann spannt man, an der einen Polklemme beginnend, einen blanken Kupferdraht von $\frac{1}{2}$ bis 1 mm Dicke über und unter das Rähmchen in 2 bis 6 Windungen, stets symmetrisch zur Magnetnadel, die auf einer von unten durch den Mittelpunkt des Quadrats eingetriebenen Nähnadel spielt, nach beiden Seiten und befestigt das Drahtende an der zweiten Polklemme; da, wo der Draht über die Leisten führt, hat man zuvor Kerben eingeschnitten, so dass er dieselben gerade ausfüllt. Eine Kreisscheibe, aus gutem Papier geschnitten und von 5 zu 5° eingeteilt und eine quadratische Glasplatte von 12 cm Seite, zum Schutze gegen Staub und Luftzug mit dünnem Papier aufgeleimt, vervollständigen das Galvanoskop.

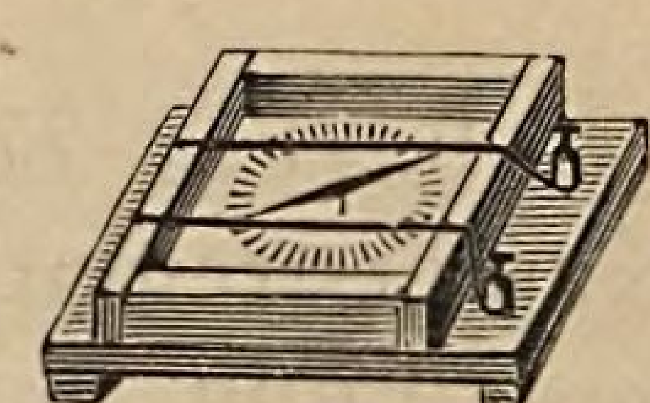


Fig. 76.

Der Experimentator wird gut daran thun, sich die Ausschläge der Magnetnadel zu merken (notieren), wenn er der Reihe nach 1, 2, 3 u. s. w. Braunstein- oder Daniell-Elemente in den Stromkreis einschaltet.

Das Instrument wird für ihn gewissermaassen zum Galvanometer.

Einfacher, aber weniger empfindlich ist folgendes.

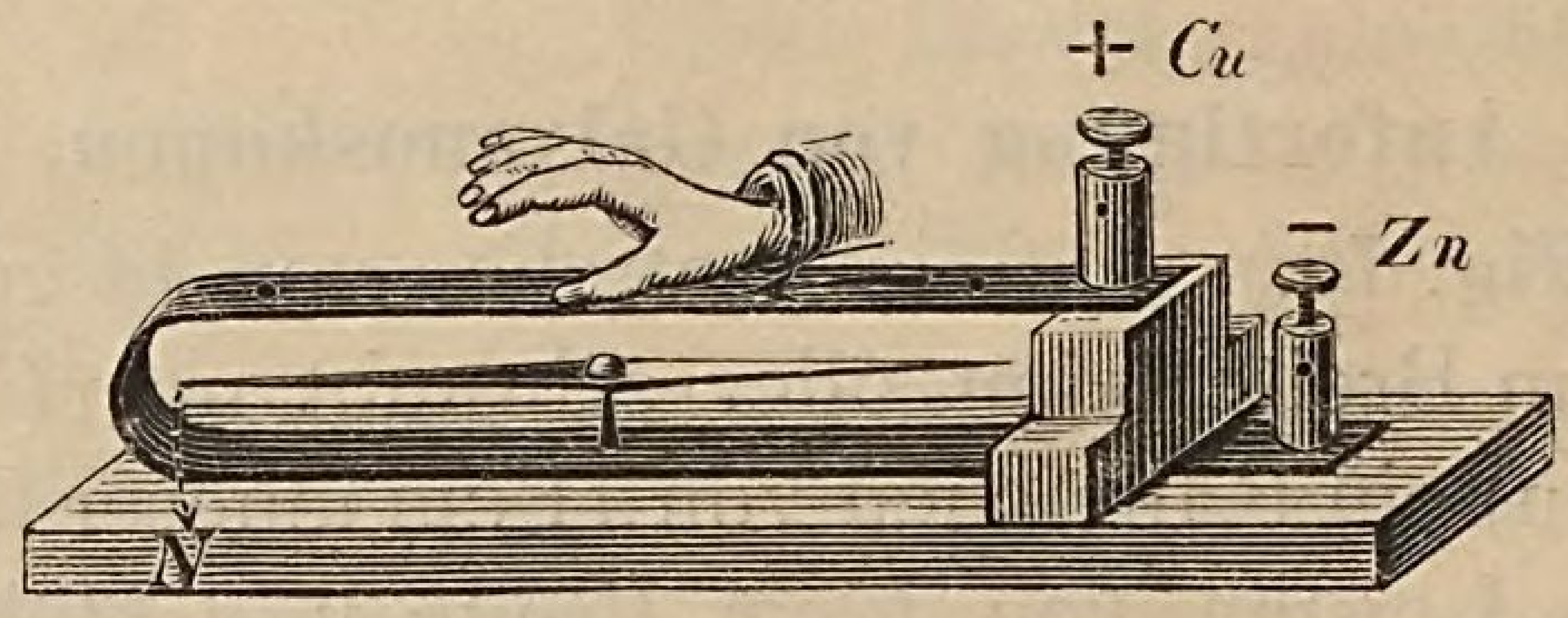


Fig. 77. $^1/_2$ bis $^1/_4$ n. Gr.

b. (Fig. 77.) Es besteht aus einem umgebogenen Kupferstreifen, durch dessen Enden die Polklemmen geschraubt sind. Will man die Grösse der Ablenkungen annähernd schätzen, so wird man in die Schlinge einen wie oben geteilten Kreis legen, dessen Mittelpunkt durch die Trägernadel hinabgestreift ist. Es ist dann vorteilhaft, in die obere Hälfte des Streifens einen Schlitz zu sägen, um die Nadel auf Null einstellen zu können.

c. (Fig. 78.) Man ersetzt die soeben angegebene Kupferblechschlinge durch ein schmales Holzrähmchen von 10 bis 20 cm Länge, 3 bis 4 cm Breite und einer inneren Weite von 1 bis 1,5 cm (aus zwei Cigarrenbrettchen und zwei Halbcylindern von einer Fadenspule verleimt), umwickelt es der Länge nach mit mehreren Windungen übersponnenen Kupferdrahts von 0,5 bis 1 mm Dicke und führt die Enden zu den in das Grundbrett geschraubten Polklemmen. Die Magnetnadel schwebt auf einem Stück Nähnadel, die in eine Korkscheibe eingesteckt oder in ein Metallplättchen eingelötet ist. Diesen Rahmen stellt man über den Mittelpunkt einer eingeteilten Kreis-

scheibe, welche man von unten so einschneidet, dass man die Abschnitte über den Rahmen klappen und den ganzen Apparat in die Tasche stecken kann.

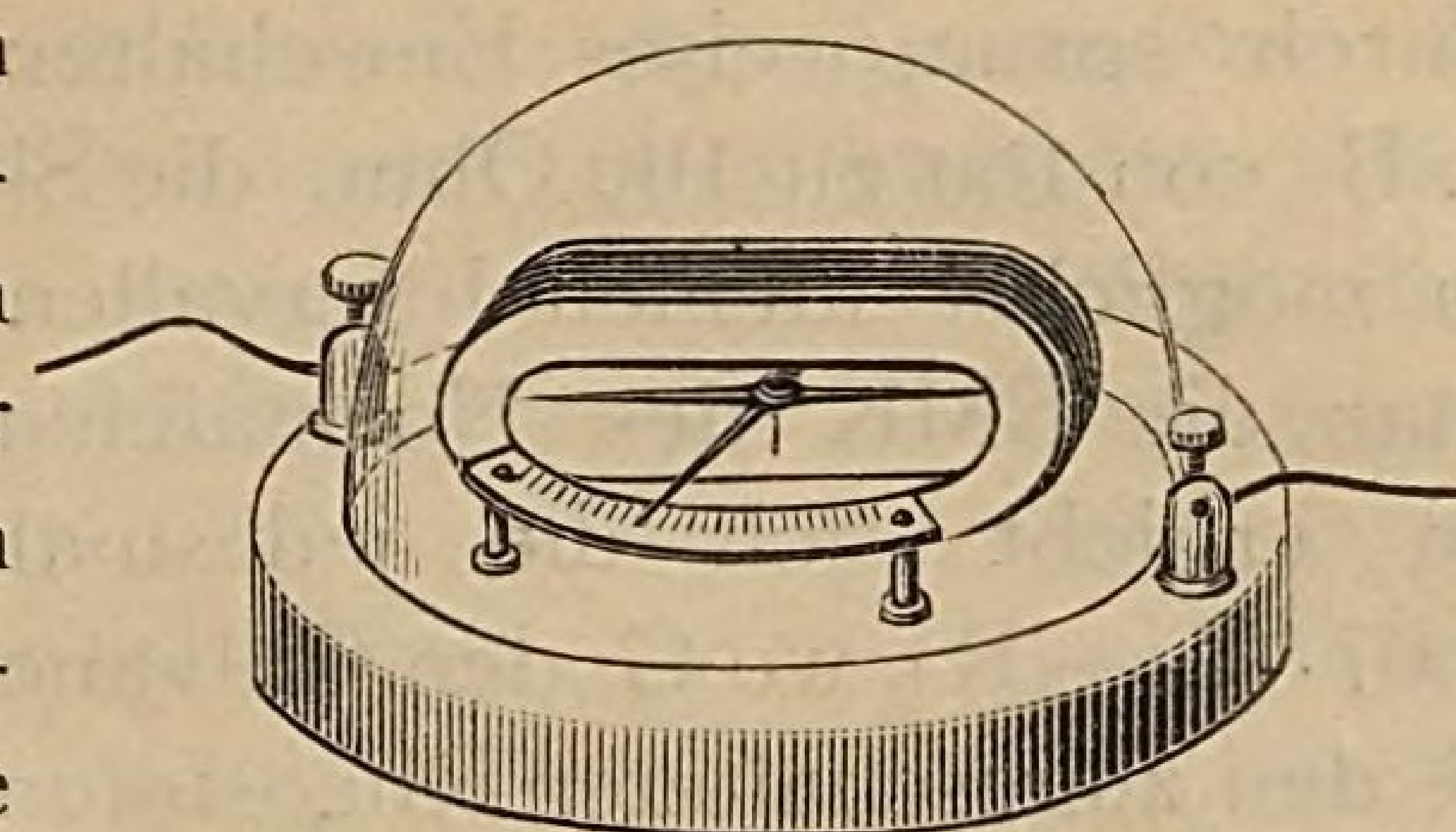


Fig. 78.

d. (Fig. 79). Ein Holzrahmen ist in der Mitte mit feinen, in mehreren Windungen über einander gewickelten Lagen umgeben und die Drahtenden sind zu den Polklemmen geführt. Dieser Holzrahmen hat oberhalb in den Querleisten Aushöhlungen, in welche das Gehäuse eines Kompasses eingelassen ist, so dass dessen Boden auf den isolierten Drahtwindungen aufliegt. Der Kompass wird so eingestellt, dass seine Nadel den Drahtwindungen parallel gerichtet ist. Nun wird ein schwacher Strom durch das Gewinde geschickt und die Nadelabweichung notiert, hierauf wird der Strom in umgekehrter Richtung durch das Gewinde geschickt; wenn nun der Ausschlag in beiden Fällen gleich gross ist, so ist das Galvanometer richtig aufgestellt.

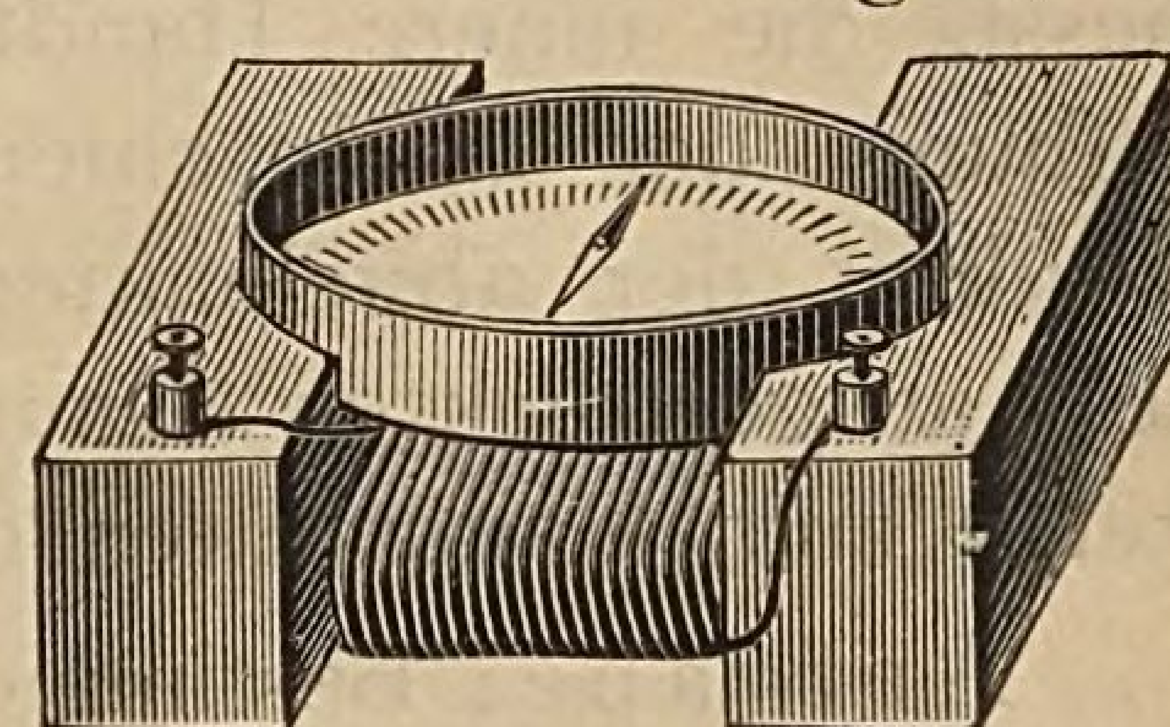


Fig. 79.

Mit Hilfe eines Normalelementes und Widerstandskastens wird ein Galvanoskop folgendermaassen graduiert und geeicht. Aus einem Normal-Daniell, Widerstandskasten, Kommutator und Galvanoskop wird ein Stromkreis hergestellt, und

durch sprungweises Einschalten von Widerständen, z. B. von 100 zu 100 Ohm, die Skala des Instrumentes in möglichst kleinen Intervallen ausgewertet. Setzt man die EMK des Normalelementes zu 1,07 Volt, so ergiebt sich die jedesmalige Stromstärke zu 1,07·(G + R), wo G den Galvanometerwiderstand und R den zugeschalteten Rheostatenwiderstand bedeutet. Falls man ein grossplattiges Element anwendet, kann dessen innerer Widerstand vernachlässigt werden.

Stromrichtung und Nadelausschlag.

Halte den rechten Zeigefinger in die Richtung des positiven Stromes, der vom Kupfer zum Zink fliesst, die innere Handfläche auf die zugehörige Öffnung der Drahtschleife (Spirale), so liegt der Nordpol der abgelenkten Nadel in der Richtung des ausgestreckten Daumens und die Kraftlinien treten zum Handrücken ein. (Fig. 77, 92a, 95.)

A u f g a b e: Bestimme umgekehrt aus der Nadelablenkung die Richtung des Stromes! (Unter Richtung des Stromes versteht man nach Übereinkunft stets diejenige des positiven.)

Richtmagnet und Nebenschlüsse für Galvanometer.

Um die Empfindlichkeit eines Galvanometers zu e r h ö h e n, legt man in die Richtung der Magnetnadel einen Stabmagneten, R i c h t m a g n e t genannt, mit dem der Nadel zugewendeten gleichen Pol in solcher Entfernung, dass die Nadel gerade noch ihre Nord-Süd-Richtung beibehält.

Die Empfindlichkeit eines Galvanometers kann man dadurch a b s c h w ä c h e n, dass man einen Teil

des zu starken Stromes durch einen zwischen die beiden Klemmen des Galvanometers gelegten Draht leitet, so dass nur der übrige Teil des Stromes durch die Galvanometerwindung fliesst. Die eingeschalteten Widerstandsrollen heissen Nebenschlüsse und betragen gewöhnlich $\frac{1}{9}$, $\frac{1}{99}$, $\frac{1}{999}$ des Widerstandes des Galvanometers. Steckt man den Stöpsel in a (Figur 80), so ist der durch das Galvanometer fliessende Strom $\frac{1}{10}$ des gesamten Stromes. Mit demselben Galvanometer kann man somit Ströme messen, deren Stärke von 1 bis 1000 wechselt.

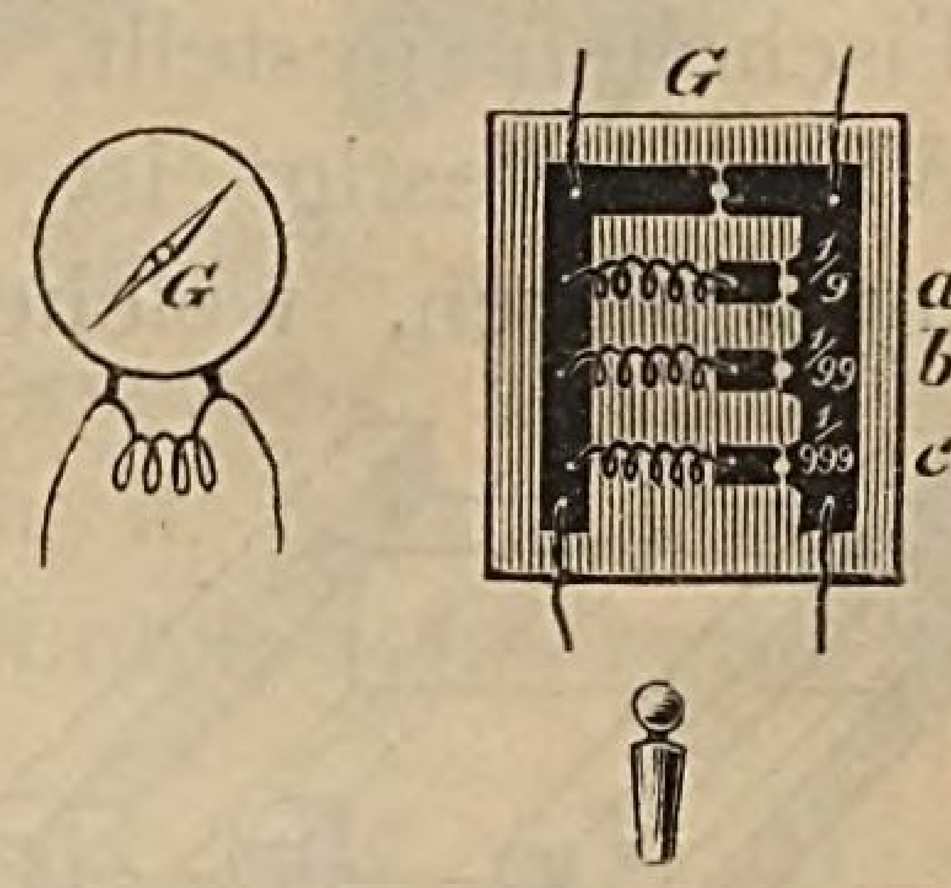


Fig. 80.

Messung der Stromstärke mittels des Kompasses.

Man spanne einen längeren Kupferdraht K senkrecht, bestimme den durch ihn gehenden magnetischen Meridian N S (Richtung der Kompassnadel), sende den zu messenden Strom durch den Draht und nähere demselben, im magnetischen Meridian fortschreitend, eine empfindliche Bussole, bis deren kurze Nadel einen Ausschlag von 45⁰ anzeigt; hierauf messe man von der Nadelspitze n bis zum Draht K: so viele cm diese Entfernung beträgt, so viele Ampère fliessen durch den Draht.

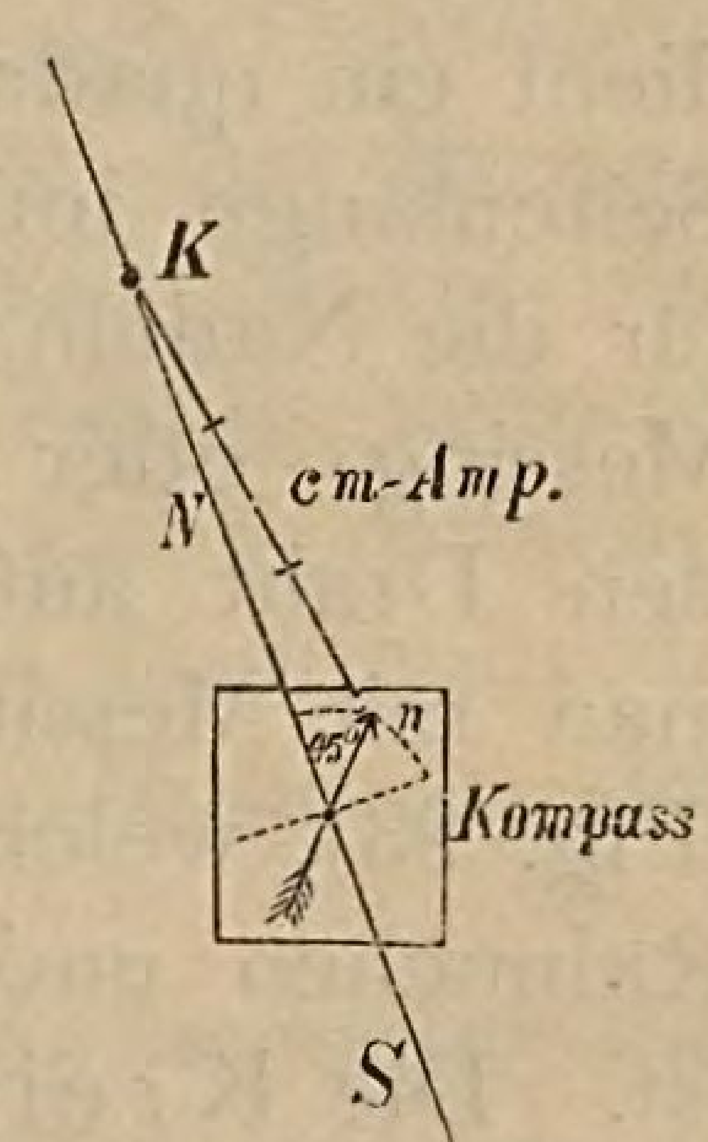


Fig. 81.

Der Multiplikator (Schweigger 1820) hat seinen Namen davon, dass die Nadel innerhalb mehrerer, oft zahlreicher Windungen eines mit Seide übersponnenen Drahtes sich befindet, deren jede einzelne in gleicher Weise ablenkend auf den Magnet wirkt. Das Instrument wird am besten auf ein Tischchen gestellt, welches konsolenartig an die Wand befestigt ist. Will man nur ein Instrument konstruieren, welches für die meisten Zwecke ausreiche, so nimmt man 1600 bis 2000 Windungen aus Draht von 0,3 bis 0,5 mm Dicke und lässt je 400 bis 500 Windungen für sich in Klemmschrauben auslaufen, so dass man dieselben hinter oder neben einander gebrauchen kann. Zum Aufwickeln des mit Schellack oder Paraffin gefirnissten Drahtes dient ein quadratisches Rähmchen von 5 bis 6 cm Seitenlänge im Lichten (Fig. 82). Um den Raum für die Nadeln frei zu halten, umgiebt man ihn mit Messing- oder Kupferplättchen und wickelt dann den Draht auf. Das fertige Rähmchen befestigt man mit Messingschrauben auf dem Grundbrett (Fig. 83), welches 5 bis 6 cm mehr Seite hat als das Rähmchen und mit 3 Stellschrauben versehen ist. Die Kreisteilung zeichnet man auf Karton oder auf eine dünne Elfenbeinplatte, bei der man die Nadelrisse mit Tusche füllt und überflüssige Schwärze mit Glas abschabt. Den Rahmen kann man auch aus starkem Kupferblech anfertigen.

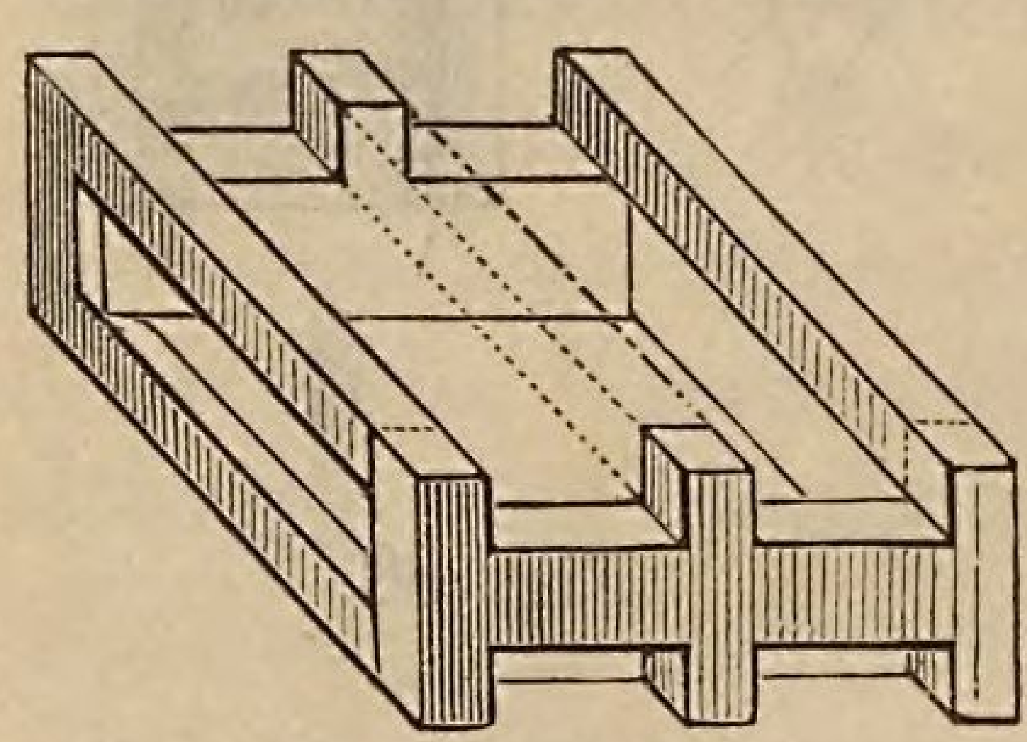


Fig. 82.

Fig. 82a. Ein 2 bis 3 mm dickes Kupferblech ist nach der in der Fig. angedeuteten Form umgebogen, die Holzrahmen R und R′ werden bewickelt über die Kupferform mit schwacher Reibung geschoben und die Drähte in Reihe verbunden. Diese Rahmen sind also leicht auszu-

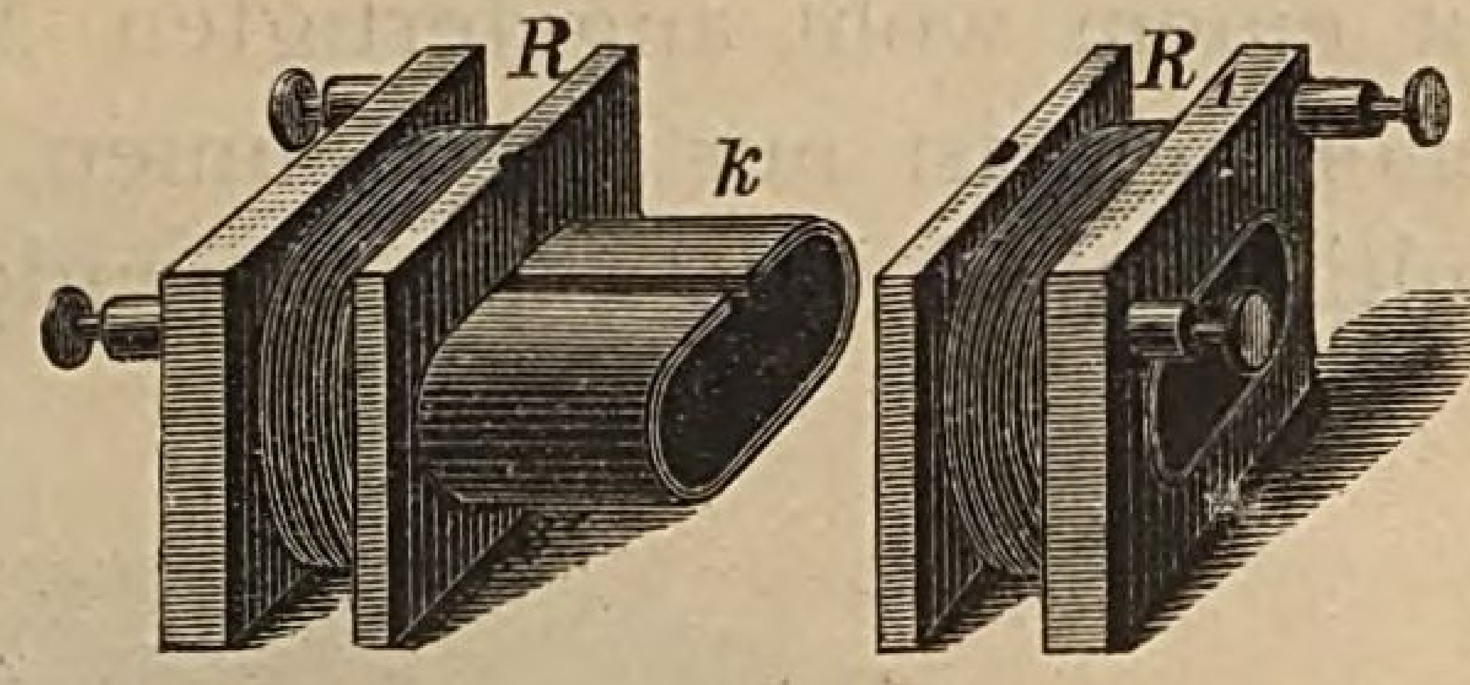


Fig. 82a.

wechseln und durch andere zu ersetzen. Das Kupfer dient zur Dämpfung der Nadeln, d. h. es vermindert die Zahl und Dauer der Nadel-Schwingungen. (Vergl. Induktion.)

Das astatische (unstäte, bewegliche) Nadelpaar fertigt man aus feinem stählernen Klavierdraht oder Stahlröhrchen und macht es etwa 6 mm kürzer, als der innere Raum des Rähmchens gestatten würde.

Zum Aufhängen derselben dient (Fig. 83) ein Träger, der mit 3 Messingschrauben auf dem Grundbrett befestigt wird und sich oben so umbiegt, dass der sorgfältig geglättete Einschnitt an seiner Spitze sich genau über dem Mittelpunkt der Teilung befindet. Man knüpft das Nadelpaar an einen einfachen Kokonfaden, führt diesen durch den Einschnitt des Trägers und befestigt sein anderes Ende an dem Schraubenstift des Trägers.

Das ganze Instrument (Fig. 83) bedeckt ein aus Glasscheiben und Papierstreifen hergestelltes Gehäuse.

Ablenkung und Stromstärke stehen bis etwa 20° im einfachen Verhältnis.

Fig. 83a kann zwar nur die Arbeit des Mechani-

kers sein, giebt aber das Ziel an, dem auch der Dilettant zustreben wird.

Versuch: Nachweis des Muskelstromes. Mit einem wohl angefertigten Multiplikator (streng genommen ist nur der Rahmen mit Drahtspulen der Multiplikator) lässt sich folgender Versuch anstellen.

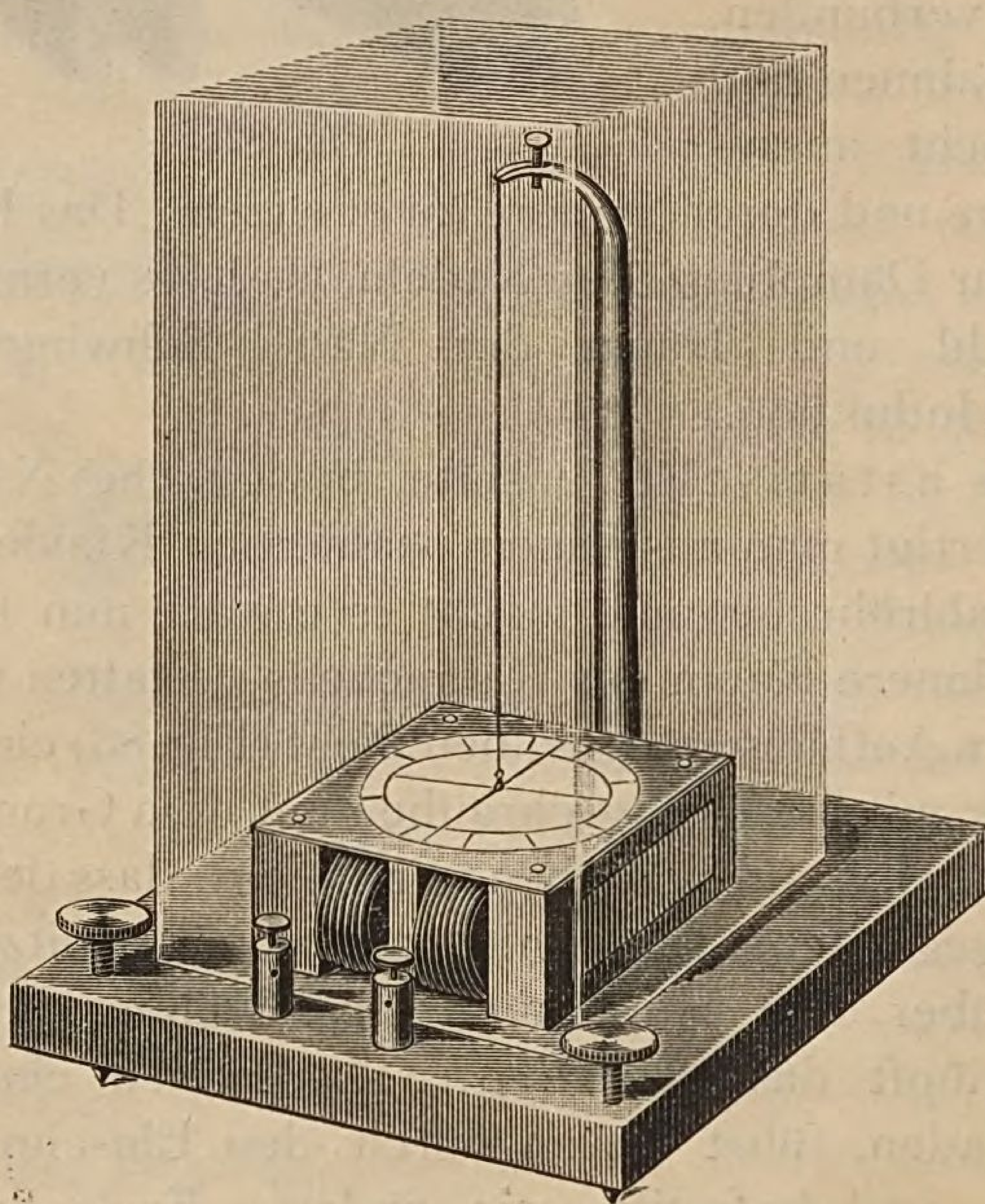


Fig. 83.

Tauche in Wasser, in dem Kochsalz aufgelöst ist, zwei gut gereinigte Platin- oder Kupferplatten einander gegenüber und verbinde sie durch Leitungsdrähte mit den Polklemmen des Multiplikators. Bei vollkommener Reinheit der Platten erfolgt kein

Nadelausschlag. Halte dann die eine Hand oder nur einen Finger zwischen die Platten und krümme sie mit Muskelanstrengung; die Nadel schlägt aus; halte

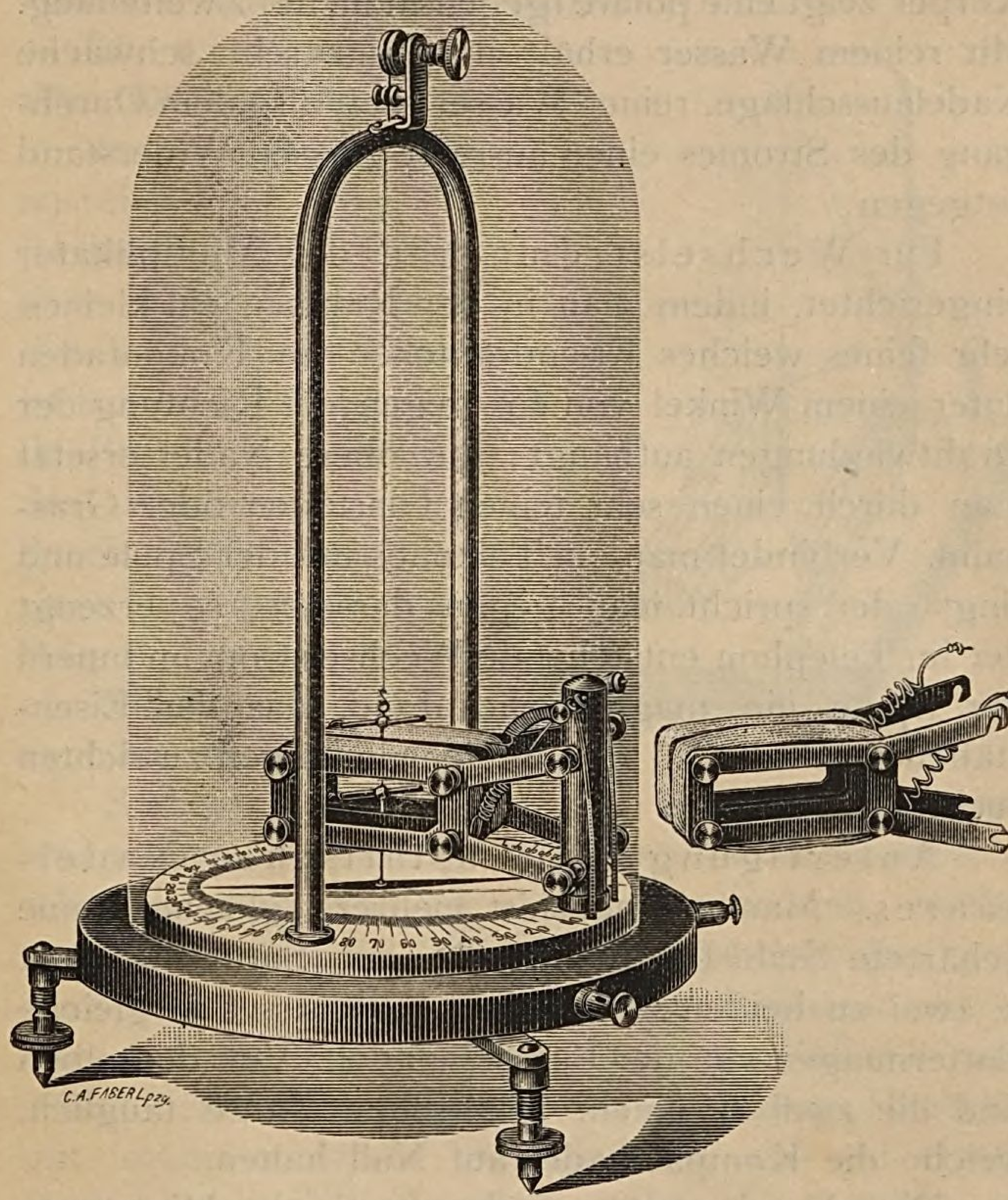


Fig. 83a.

hierauf den rechten und den linken Zeigefinger zwischen die Platten; krümme zuerst den rechten und

alsdann den linken Zeigefinger; die Nadel weicht nach entgegengesetzter Richtung aus.

Folgerungen: Jede Bewegung der Muskeln erzeugt einen galvanischen Strom; der menschliche Körper zeigt eine polare (gegensätzliche) Zweiteilung. Mit reinem Wasser erhält man nur sehr schwache Nadelausschläge, reines Wasser setzt also dem Durchgang des Stromes einen äusserst grossen Widerstand entgegen.

Für Wechselströme wird der Multiplikator eingerichtet, indem man in den Rahmen ein kleines, sehr feines weiches Eisendrähtchen an Kokonfaden unter einem Winkel von 45^0 gegen die Richtung der Drahtwindungen aufhängt; die obere Nadel ersetzt man durch einen sehr feinen Glasfaden oder Grashalm. Verbindet man ein Telephon mit der Spule und singt oder spricht man gegen dasselbe, so erzeugt der im Telephon entstehende Wechselstrom im Innern der Spule ein magnetisches Feld, das das Eisenstäbchen parallel zu den Spulenwindungen zu richten sucht.

Anfertigung eines astatischen Nadelpaares. Man magnetisiert mehrere gleiche dünne gehärtete Stahl-Drahtstücke bis zur Sättigung, legt je zwei zu beiden Seiten eines Kompasses in gleiche Entfernungen von der Bussolennadel. Von denselben sind die zwei zu einem astatischen Paare tauglich, welche die Kompassnadel auf Null halten.

Die eine davon umwindet man in der Mitte enge mehrmals mit einem Messing- oder Kupferdraht von 0,4 mm Durchmesser (Fig. 84), schlingt die Enden über einander, nimmt diese in der durch die Rähmchenhöhe

vorgeschriebenen Entfernung aus einander, windet jeden Teil um die andere Nadel, schlingt sie wieder über einander und bildet einen Haken. Die Nadeln müssen genau parallel laufen und entgegengesetzte Pole auf derselben Seite haben.

Ein einfacher, aber für den Praktiker in den meisten Fällen ausreichender Multiplikator (Fig. 84) besitzt kein Rähmchen; der 1 mm dicke Draht ist frei über ein passendes Brettchen gewickelt; der Kokonfaden wird durch Aufwickeln an einer Holzschraube verlängert oder verkürzt; ein Glassturz ist aber auch hier unumgänglich.

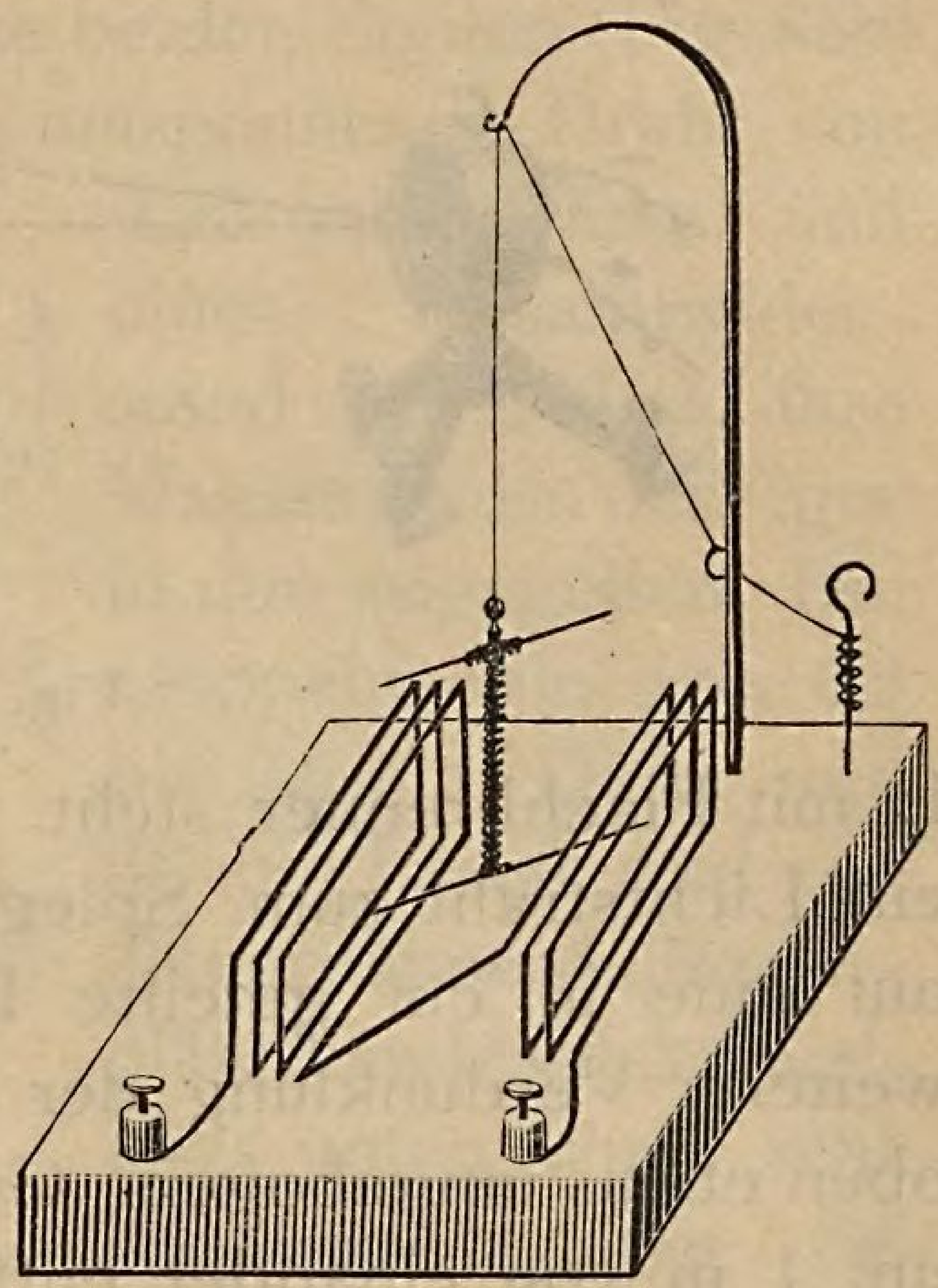


Fig. 84.

Spiegelablesung. Um bei Multiplikatoren und andern empfindlichen Messinstrumenten noch sehr schwache Ablenkungen ablesen zu können, ersetzt man Kreisteilung und Aluminiumzeiger durch Spiegelvorrichtung. In Fig. 85 stellt G ein Galvanometer dar, das aus einem Kupfer-, Messing-, Zinkrohr von 2 bis 3 cm Weite und 2 bis 3 cm Länge besteht, mit isoliertem Draht umwickelt ist und auf einem Dreifuss mit Stellschrauben steht. In dasselbe ist eine Kartonröhre geschoben, an welche an kurzem Kokonfaden ein kleines Spiegelchen hängt; auf die Rückseite desselben sind 2 bis 3 kurze magnetisierte

Stückchen von Taschenuhrfedern mit Schellack gekittet. Dem Galvanometer gegenüber steht ein Holzgestell H, in dessen Mitte eine kleine Erdöllampe

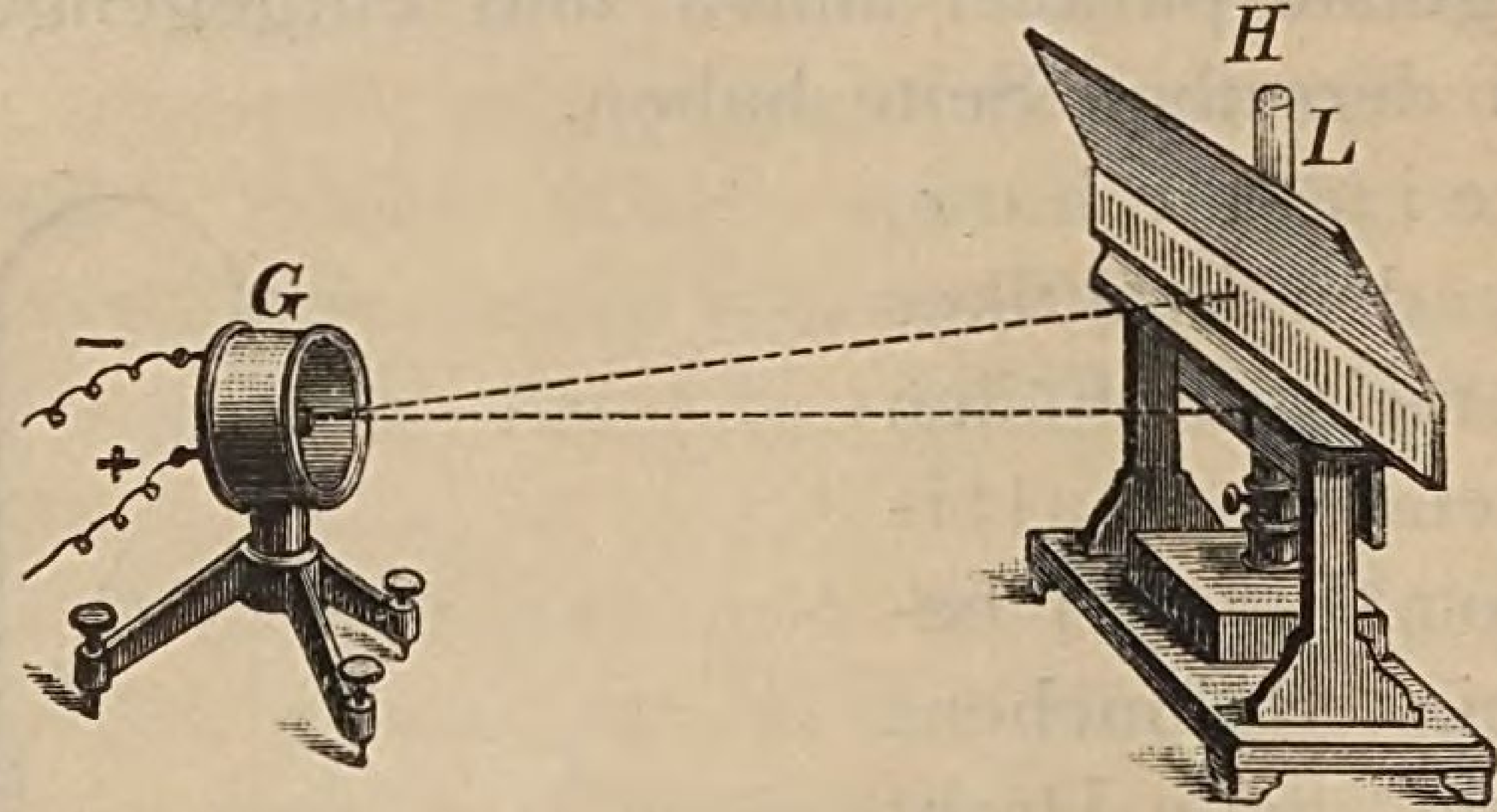


Fig. 85.

L mit Flachbrenner steht. Durch einen Spalt dringt ein Lichtstrahl zum Spiegel und wird von diesem auf eine in cm geteilte Papierskala geworfen; zu weiterer Verdunklung der Skala ist die Pappe nach oben etwas umgebogen. Gewöhnlich stehen G und H um 1 m von einander entfernt.

Wenn das Spiegelchen S′ (Fig, 85a) um den Winkel von seiner ersten mit der Skala parallelen Lage S abweicht, so wird der Lichtstrahl LAB um 2 α nach BC abgelenkt. Dieser Zeiger ist gewichtslos und kann beliebig lang gemacht werden; doch

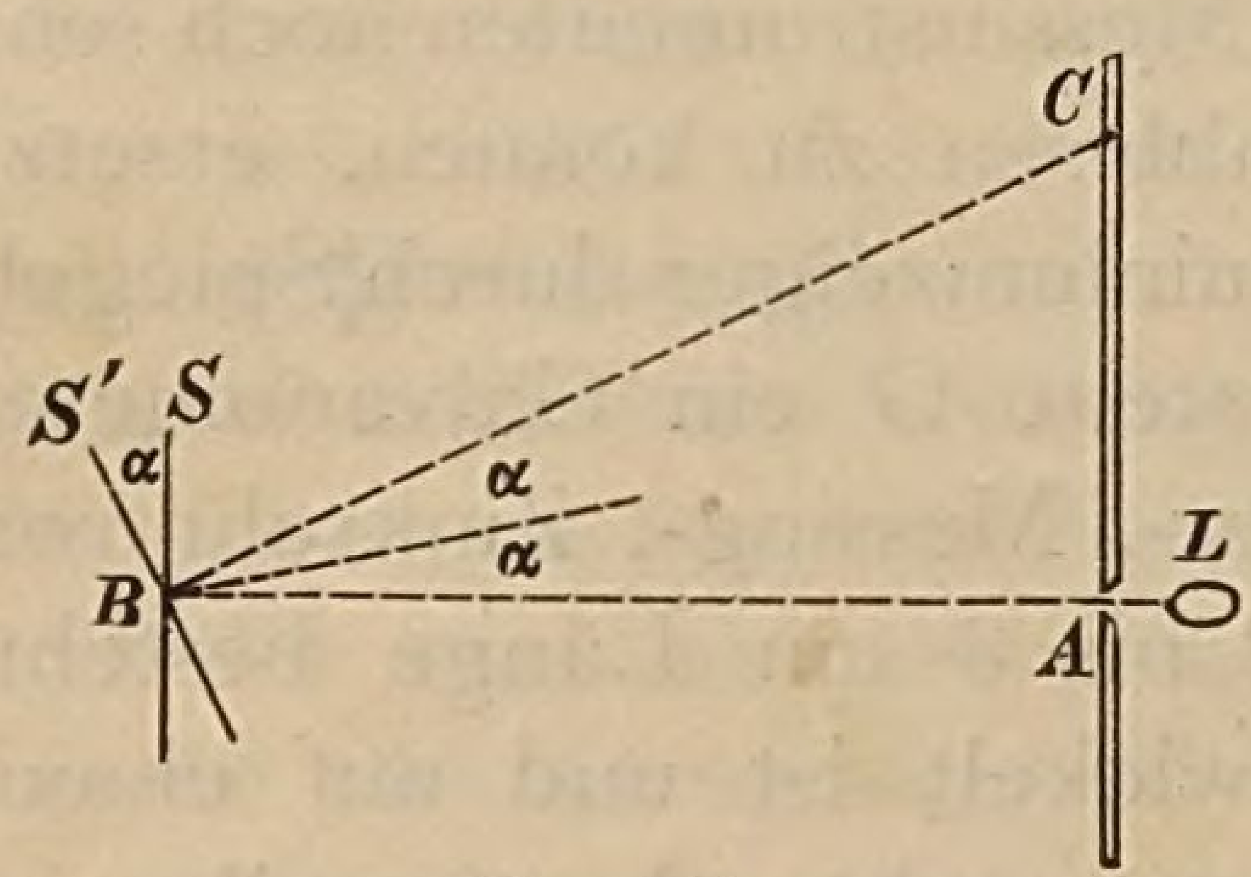


Fig. 85a.

hat die Anordnung den Übelstand, dass man nur in der Dunkelheit operieren kann.

Die Lampe L kann man auch durch einen Zink-

cylinder mit Schlitz umgeben und die Skala an einer Wand befestigen; bei kleinen Nadelablenkungen darf man die Ablenkungen der Stromstärken porportional annehmen.

Multiplikator mit senkrechtem astatischen Nadelpaar. Die beiden Spulen (Fig. 85b) A A' und B B' haben beide umsponnenen Draht von 0,22 mm Dicke und einem Gesamtwiderstand von 146 Ω; ihre Maasse sind in derFigur in mm angegeben. Die Doppelnadeln von 0,2 bis 0,6 mm Dicke und 36 mm Länge sind von einem dünnen Glimmerplättchen bedeckt, welches unten einen sehr leichten Spiegel Sp (oder einen Aluminiumzeiger) trägt; der Hohlspiegel besitzt 3,75 m Radius, 1 cm² Oberfläche und 0,1 g Gewicht. Die Spulen werden so nahe als möglich zusammengerückt, damit die Dimensionen der Doppelnadel klein werden. Aufgehängt ist das System an einem Kokonfaden. Bei diesem System ist der magnetische Strom fast geschlossen, weshalb die Magnetisierung lange konstant bleibt.

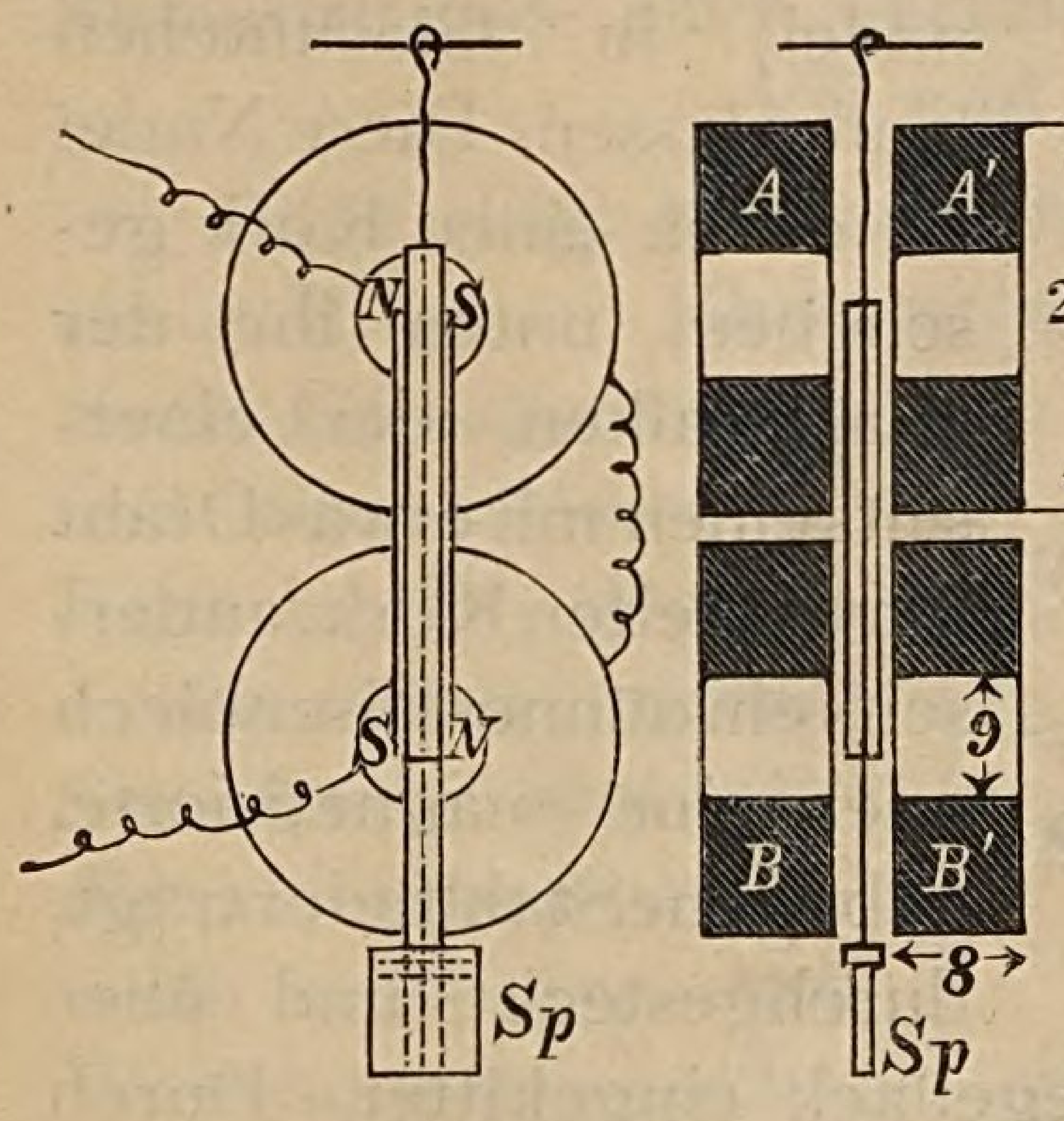


Fig. 85b.

Vertikalgalvanometer.

a. (Fig. 86.) Über eine aus Pappe, Karton, dünnen Holzbrettchen mit Stirnwänden von ½ cm Dicke ge-

fertigte Hülse von ellipsenartigem Querschnitt wird Draht von 0,3 bis 0,5 mm Durchmesser in 6 bis 8 Lagen gewickelt und die Enden zu den Polklemmen geführt. Werden die Achsenträger a aus kleinen Holzstückchen aufgeleimt, so kann man die Spitzen der Achse (eine starke Nähnadel) in Glashütchen laufen lassen. Diese Nadel ist durch einen Kork geschoben, unten ihr der Wagebalken, der einerseits einen mit etwas Draht umwickelten Kork, anderseits ein dünnes Eisenblech oder eine magnetisierte, gebogene Stahlfeder trägt, durchgesteckt und über ihr ist der Zeiger mit Siegellack eingekittet. Durch Verschieben des Korkes, der über den Zeiger gesteckt ist, kann die Empfindlichkeit des Apparates geändert werden.

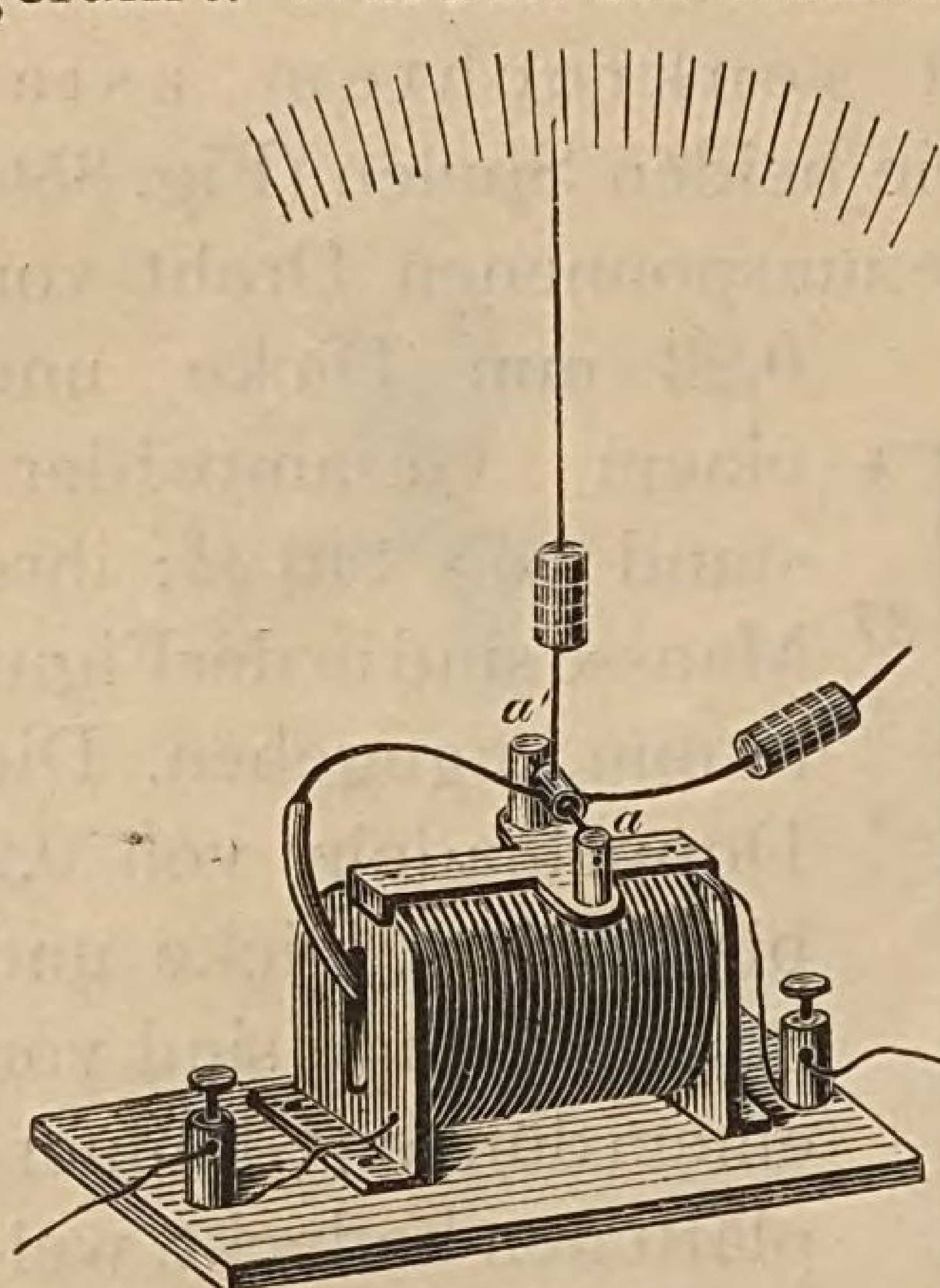
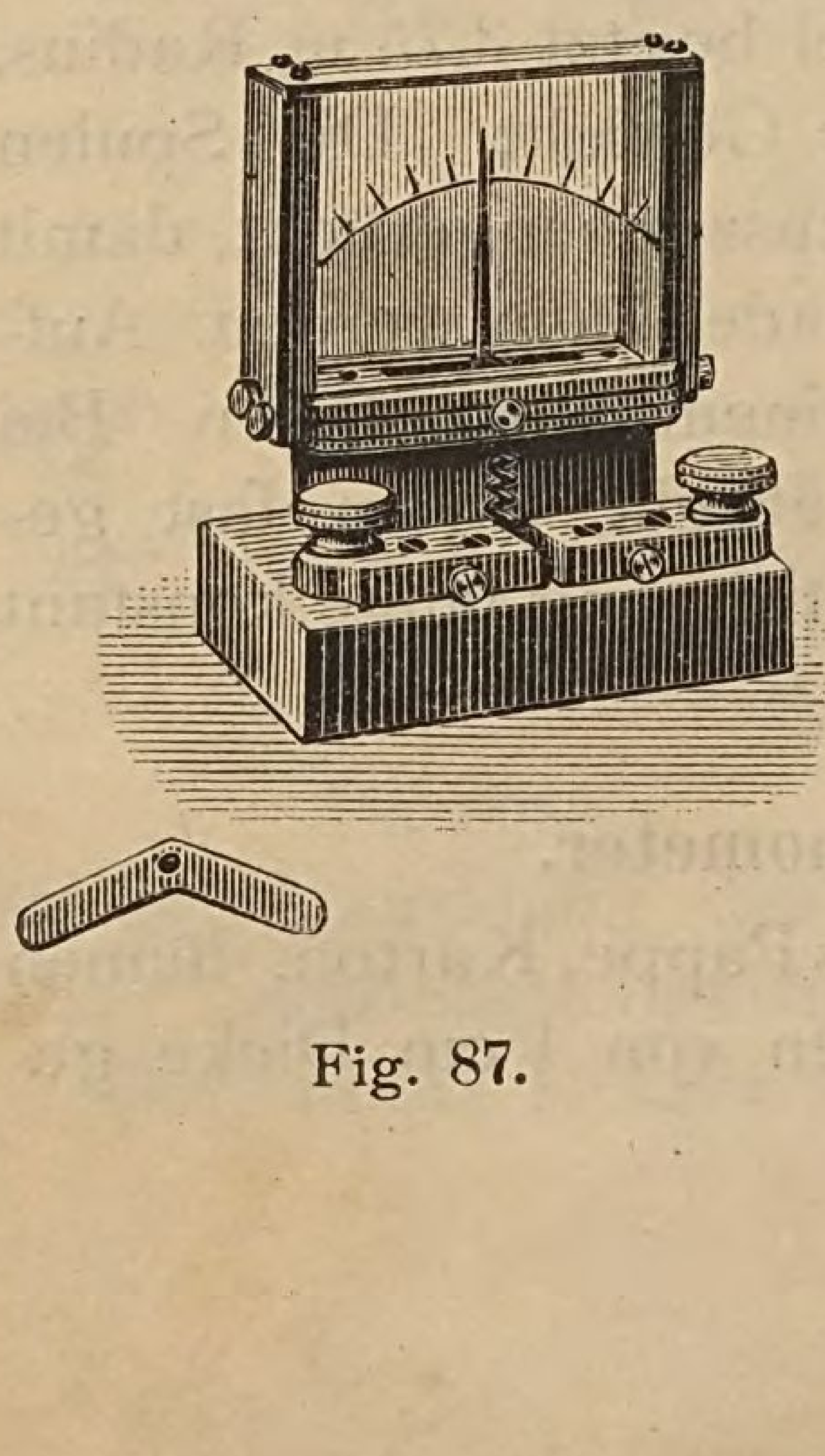


Fig. 86.

Natürlich wird der Geübtere den Apparat solider und eleganter in Metall ausführen. Vorteilhaft ist es auch hier, das Ganze durch ein Glasgehäuse vor Staub und Luftzug zu schützen. In diesem Falle führt man die Drahten-


Fig. 87.

den unterhalb des Grundbrettes von der Rolle zu den Polklemmen.

b. In dem Reichspost-Modell (Fig. 87) ist der gebogene Magnet in Spitzen gelagert. Die Drahtwindungen laufen horizontal um die Nadel.

Galvanometer und Vergleichung von Widerständen; Substitutions- oder Vertauschungsmethode (Vergl. VII und XIV).

Bilde (Fig. 87a) aus dem zu messenden Widerstand R, einem Rheostaten Rh (Widerstandskasten), einen Galvanometer G und einer konstanten Batterie B (Daniell-Elementen) einen Stromkreis; beobachte die Ablenkung von G, wenn in Rh noch kein Widerstand eingeschaltet ist; schalte R aus und setze zwischen die Polklemmen P und P′ einen Widerstand von ganz geringem Widerstand (Kupferstreifen); schalte nun in Rh so viel Draht ein, dass die Nadel wieder dieselbe Ablenkung zeigt. Der Widerstand von R ist dann gleich dem eingeschalteten Rheostatenwiderstand, der zuvor in Ohm ausgedrückt ist.

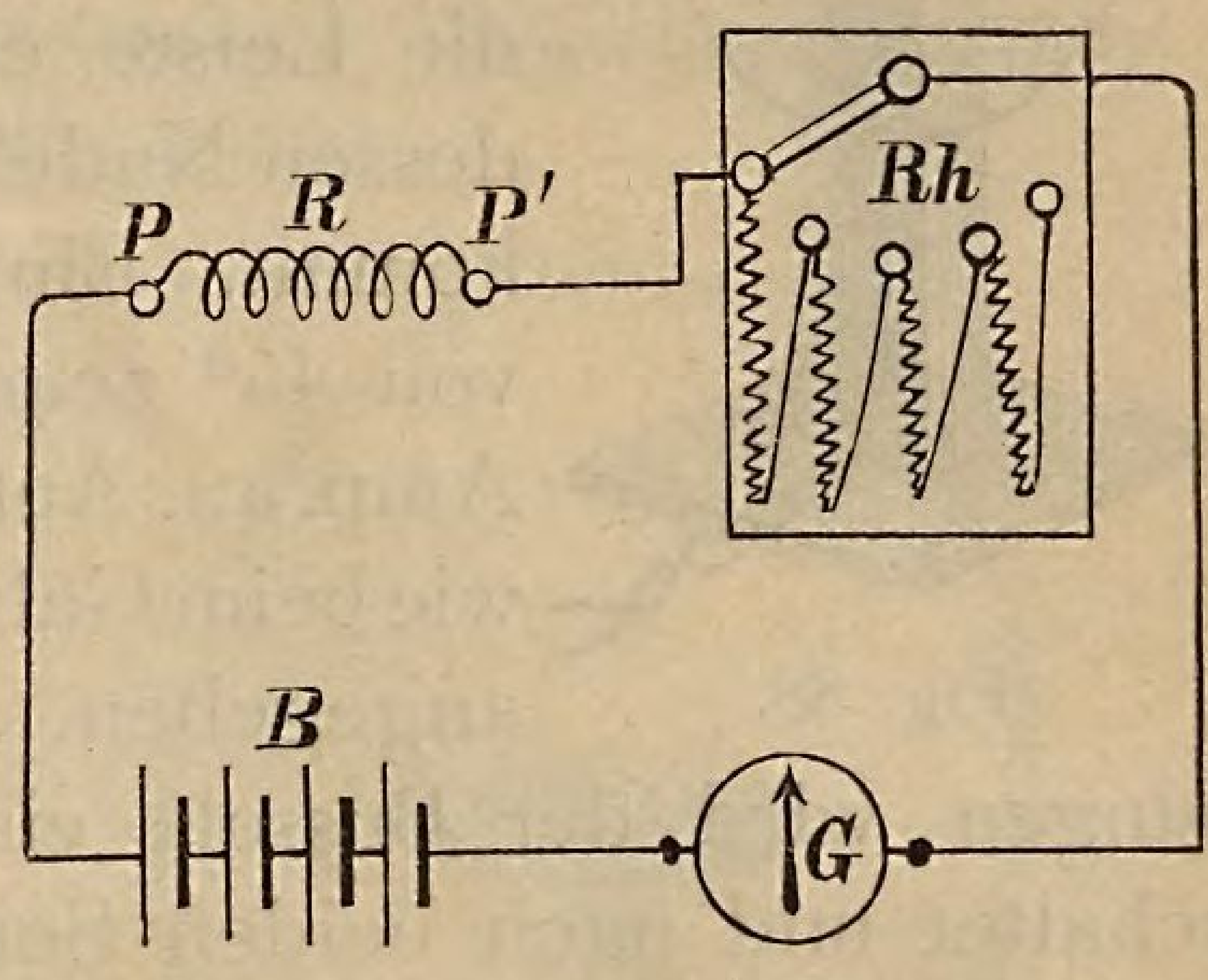


Fig. 87a.

Eine Tangentenbussole, welche bei 45° Ausschlag 10 Ampère anzeigt.

(Fig. 88.) Man nimmt ungefähr 230 cm eines 3 bis 5 mm dicken, weichen Kupferdrahtes, biegt

denselben annähernd (d. h. so vollkommen als möglich von Hand nach einem mit dem Zirkel gezogenen Kreis) zu einer Kreisschlinge von 62,8 cm Durchmesser, indem man von dem mittleren Teile des Drahtes 62,8 · 3,14 = 197 cm für den Stromring verwendet und den Rest in zwei isoliert neben einander geführten Stücken zu zwei Polklemmen führt. Die geraden Stücke befestigt man an einer in ein Grundbrett geleimten Holzleiste so, dass, wenn man auf die Leiste einen Kompass aufsetzt, dessen Nadel in die Mitte des Ringes kommt. Ein Ausschlag dieser Nadel von 45^0 zeigt einen Strom von 10 Amp. an. Aufstellung des Instruments wie beim Galvanometer mit Kompass angegeben. Bei genaueren Messungen wird der Bussole ein Stromwender vorgeschaltet und nach beiden Seiten abgelesen.

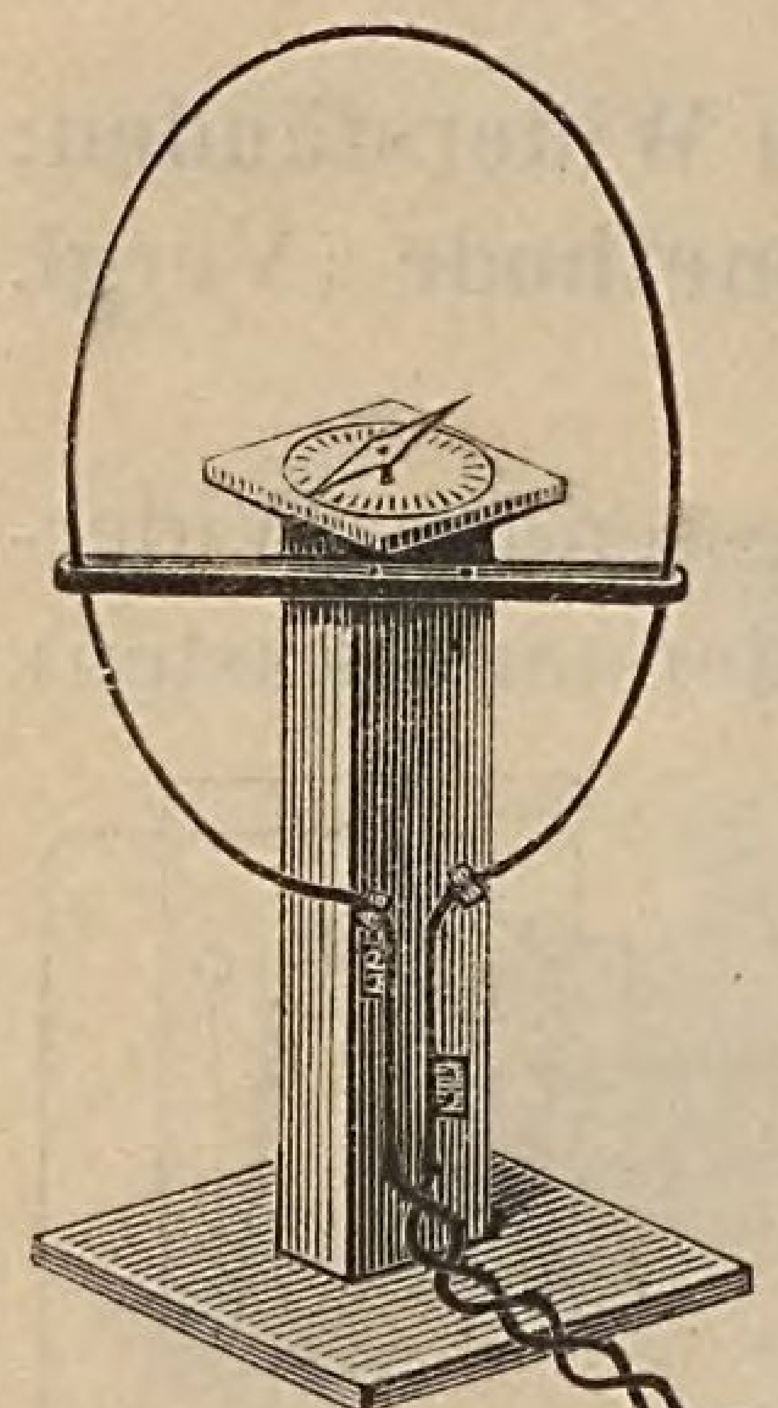


Fig. 88.

Bezeichnet R den Halbmesser des Ringes = 31,4 cm, H_e die Horizontalkomponente des Erdmagnetismus = 0,2, J die Stromstärke in Ampère, π = 3,14, tang φ = Tangente des Ablenkungswinkels φ, für 45^0 = 1, so ist:

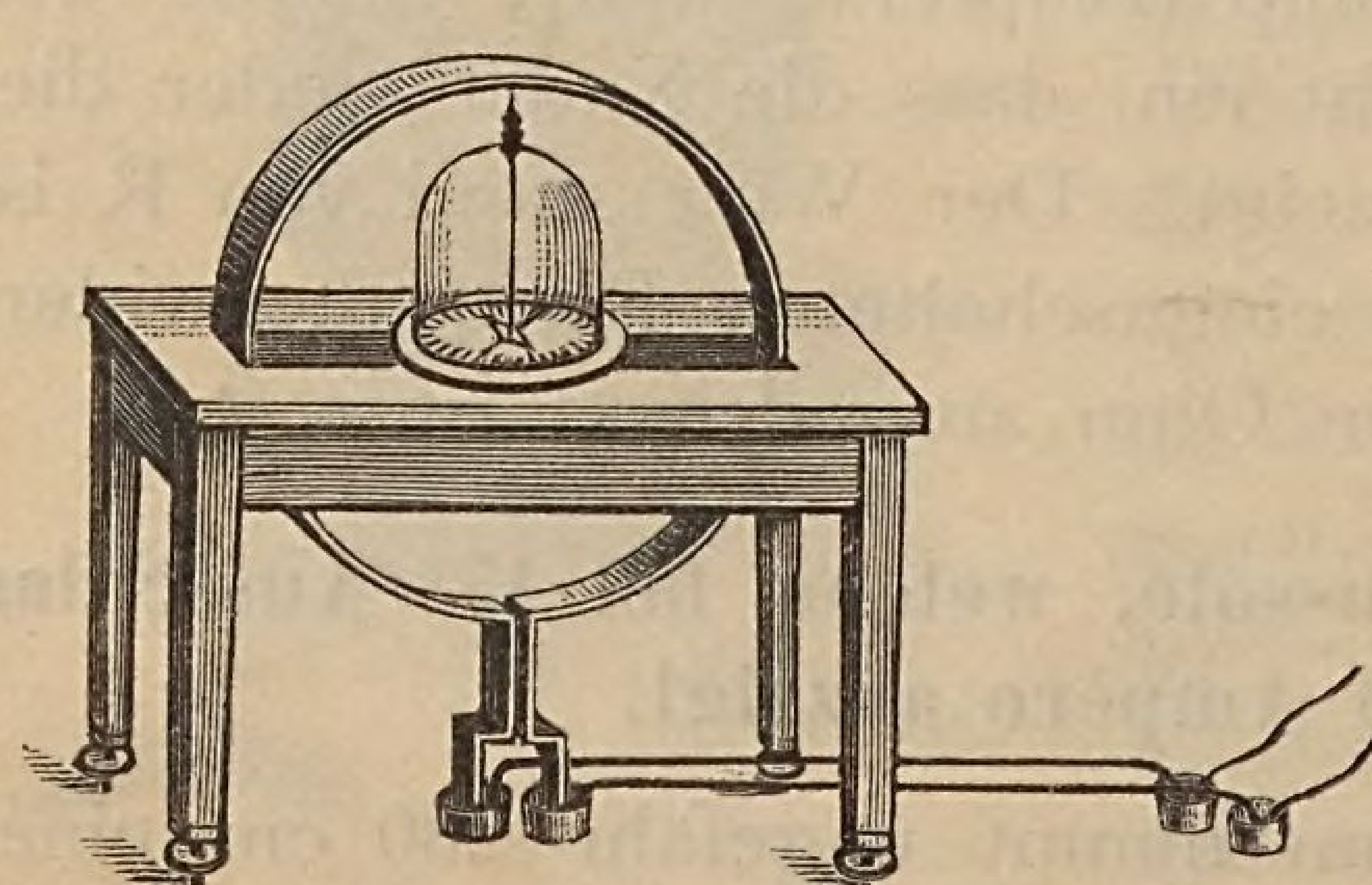


Fig. 88a.

$$J = \frac{5}{\pi} \cdot R \cdot H_e \cdot tg\varphi = \frac{5 \cdot 31{,}4 \cdot 0{,}2}{3{,}14} \cdot 1 = 10 \text{ Amp.}$$

Statt eines Kupferdrahtes kann man einen Kupferstreifen von der angegebenen Länge, von 2 mm Dicke und 5 bis 10 mm Breite zu einer Kreisschlinge von 62,8 cm Durchmesser biegen (Fig. 88a) und die parallelen senkrechten Enden durch ein Glimmerplättchen isolieren. Die Stromzuleitung geschieht dann mittels zweier Quecksilbernäpfchen. Kompassnadel wie in Fig. 91.

Teile einer Tangentenbussole (Nervander 1837, Weber 1848).

Fig. 89.) Eine Tangentenbussole besteht also:

1) Aus dem Kompass oder der Bussole: Magnetnadel, die über einer Kreisteilung schwebt;

2) aus der Stromleitung oder dem Ring, der aus einer oder mehreren Windungen gebildet ist;

3) aus dem Gestell.

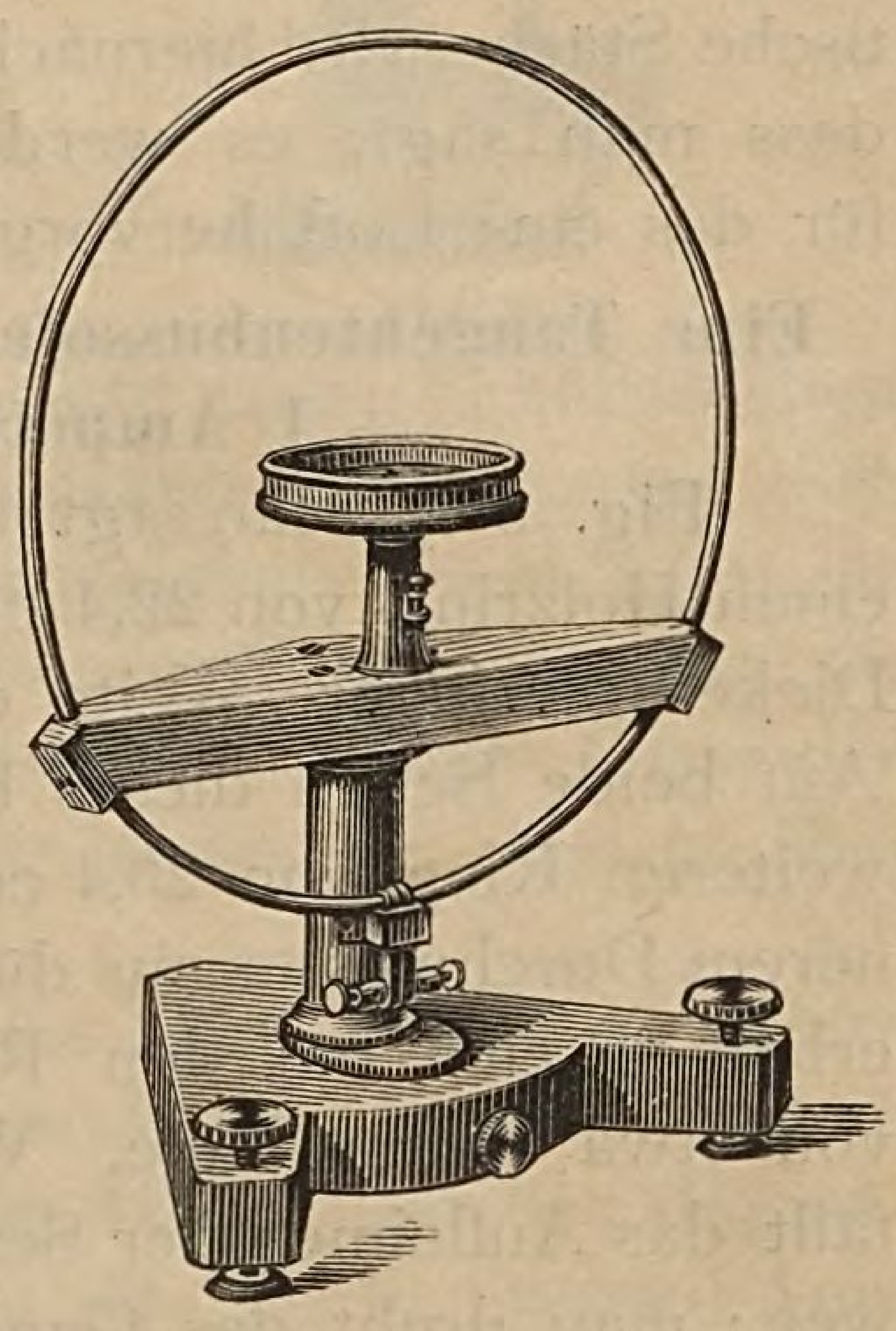


Fig 89.

Die Grösse des Ablenkungswinkels ist abhängig:

1) Von der Grösse des Durchmessers des Rings und der Windungszahl desselben;

2) von der horizontalen Stärke des Erdmagnetismus am Beobachtungsort: H_e ist in Mailand =

0,214; Bern = 0,207; Zürich 0,206; Stuttgart 0,2; Würzburg 0,196; Wien 0,207; Gotha 0,1919; Hannover 0,1857; Berlin 0,1862; Königsberg 0,1812; Bremen 0,1819; Leipzig 0,192; Prag 0,1979; Christiania 0,163; Kopenhagen 0,1738; London 0,1828.

3) Von dem Leitungswiderstand des Instrumentes; damit dieser geringer wird, verwendet man dicken Draht oder Kupferband. — $H_e = 0,2$ bedeutet: auf 1 cm^2 kommen 0,2 Kraft- und Einheitslinien oder vielmehr 5 cm^2 werden von einer magnetischen Einheitslinie senkrecht durchsetzt. Die Einheitslinie übt die Kraft von einer Dyne aus und diese entspricht nahezu dem Druck von 1 mg. Die magnetische Stärke wird hiernach in der Weise ausgedrückt, dass man sagt, es werden H magnetische Linien für das cm^2 Luft hervorgebracht.

Eine Tangentenbussole, die bei 45° Ausschlag 1 Ampère anzeigt.

(Fig. 90.) Man sägt mit der Laubsäge oder dreht einen Holzring von 22,4 cm Durchmesser und 8 mm Dicke; die innere Weite des Rings mag 15 cm sein. Auf beide Seiten dieses Ringes leimt man je einen weiteren Ring von 23,4 cm äusserem und 16 cm innerem Durchmesser aus dünnem Laubsägeholz. Man erhält so eine um den Ring herumlaufende Rinne von etwa 5 mm Tiefe. Wird der Ring gedreht, so fällt das Aufleimen der Seitenringe selbstverständlich weg; man dreht das Ganze aus einem Stück.

In diese Rinne legt man 5 Windungen dicken (1,5 mm) übersponnenen Kupferdrahts (oder auch ein durch lackiertes Papier isoliertes Kupferband in 5 Windungen) und schlingt die Enden über einander.

Diesen Ring stellt man auf einen aus Fig. 91 ersichtlichen Fuss. Aus Holz oder Pappe fertigt man eine Büchse von 10 bis 12 cm Weite und 5 bis 6 cm Höhe, auf deren Boden leimt man eine in 360° geteilte Kartonscheibe (käuflich). In die oben an die Büchse ausgedrehte oder mit Pappringen hergestellte Kehlung lässt man eine Glasscheibe schneiden und durchbohrt deren Mittelpunkt.

Dann magnetisiert man ein 1 cm langes Stück

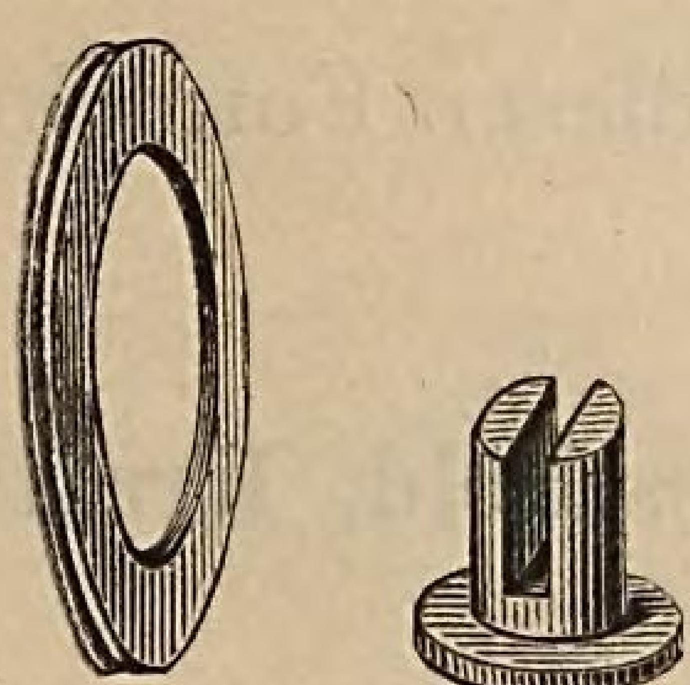


Fig. 90.

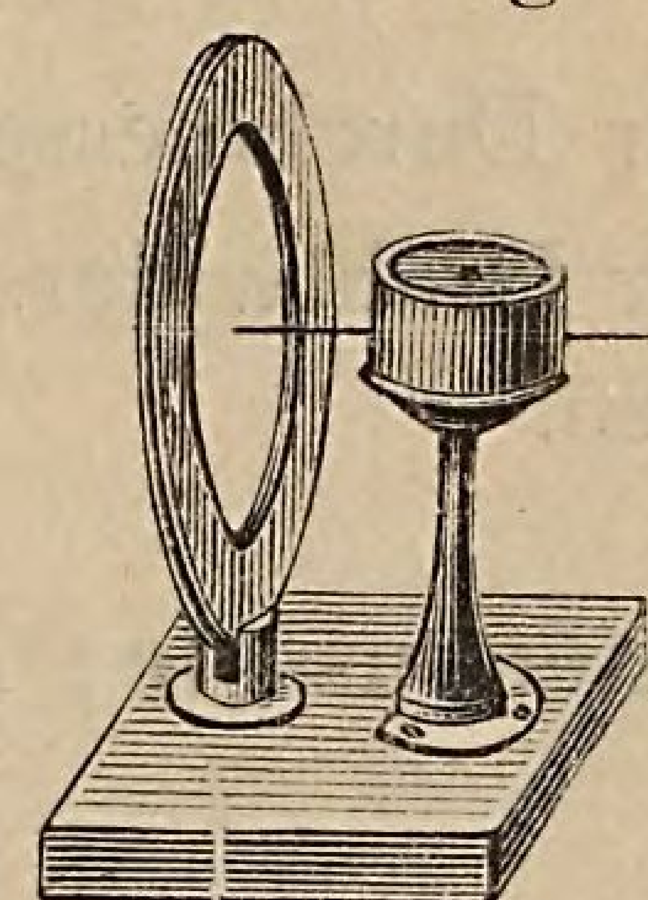


Fig. 91.

einer Nähnadel, versieht es mit einem Drahthäkchen, knüpft an dieses einen einfachen Kokonfaden, zieht ihn durch die Mitte der Glasscheibe und leimt ihn mit einem Tröpfchen Gummiarabikum an. An die Nadel hat man schon vorher einen dünnen Glasfaden oder Grashalm gekittet, der so lang ist, dass er über der Kreisteilung spielt.

Die Büchse wird auf eine Säule gebracht, wofern beide nicht als Ganzes gedreht worden sind und so an den Ring gestellt, dass der Mittelpunkt der Magnetnadel horizontal 5,6 cm ($\frac{1}{4}$ des Durchmessers) vom Mittelpunkt des Ringes entfernt ist.

$$J = \frac{7 \cdot R \cdot H}{\pi \cdot N} \cdot \operatorname{tg} \varphi,$$

wobei R = Radius und N = 5 = Windungszahl des Ringes.

$$1 \text{ Amp.} = \frac{7 \cdot R \cdot 0{,}2}{3{,}14 \cdot 5} \cdot 1; R = \frac{3{,}14 \cdot 5}{7 \cdot 0{,}2} = 11{,}2; \operatorname{tg} 45^0 = 1.$$

Für andere Orte müssten für H die angegebenen Werte eingesetzt werden.

Würde man die Nadel wieder in den Mittelpunkt des Ringes bringen, so wäre

$$1 \text{ Amp.} = \frac{5 \cdot R\, 0{,}2}{3{,}14 \cdot 5} : R = 15{,}7$$

und der Durchmesser = 31,4 cm.

Der Drahtwiderstand ist in diesen Formeln nicht enthalten.

Tangentenbussole; Magnetisches Feld, Kraftlinien, Versuche.

1. Legt man über einen Hufeisenmagneten (Fig. 92) ein Blatt Papier oder eine Glastafel und siebt feine Eisenfeilspäne darauf, so ordnen sich diese in gewisse, von einem Pol zum andern laufende Linien; man heisst diese Linien, längs deren die magnetische Kraft wirkt, magnetische Kraftlinien, und den ganzen Raum, auf den sich der Einfluss des Magneten erstreckt, sein magnetisches Feld oder seinen magnetischen Wirkungskreis. Nach Übereinkunft nimmt man an, dass die Kraftlinien vom Nordpol zum Südpol übergehen. Fig. 92a stellt die Kraftlinien eines Elektromagneten dar. Sie bilden geschlossene Kurven und suchen den kürzesten Weg zurückzulegen.

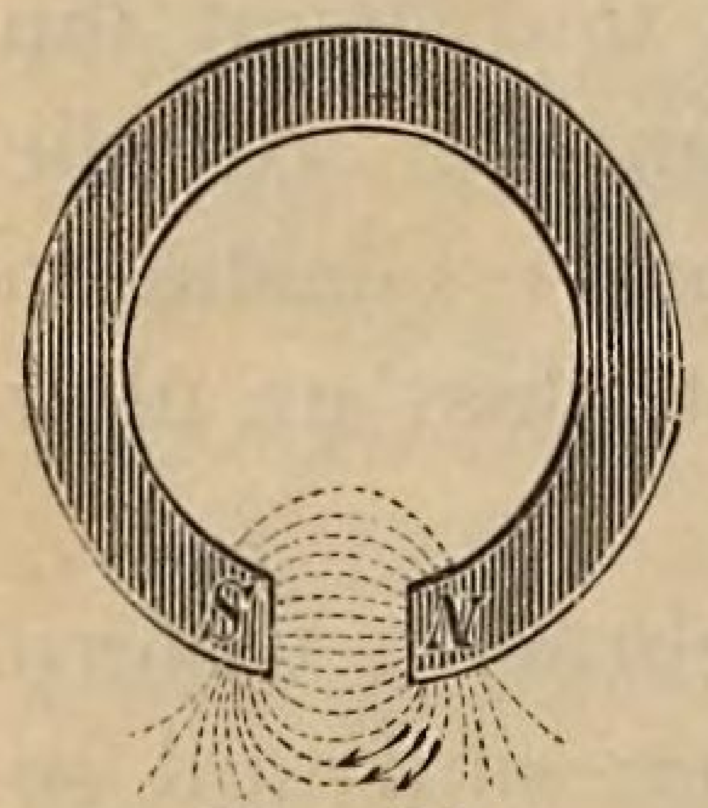


Fig. 92.

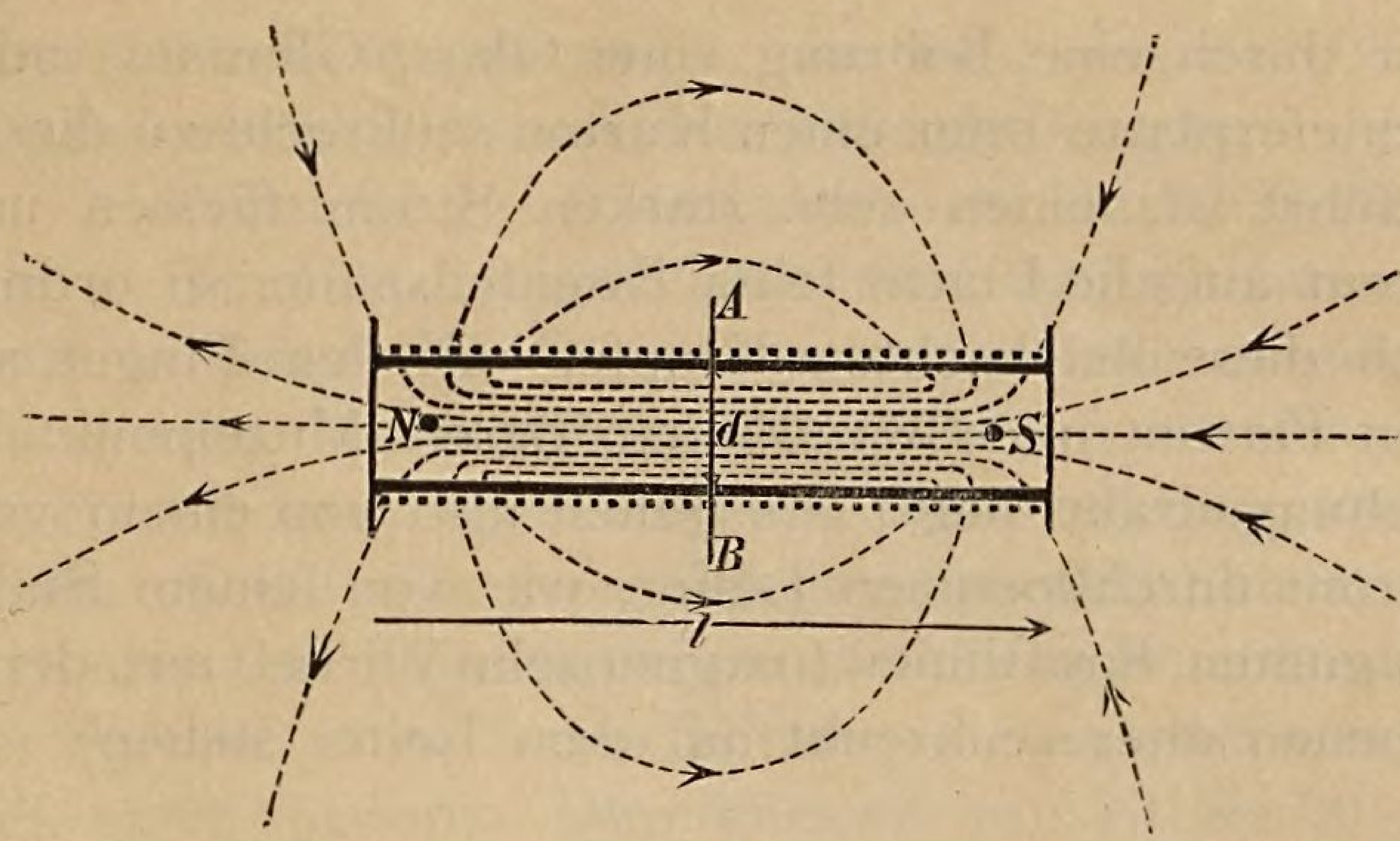


Fig. 92a.

2. Fig. 93. Sehr anschaulich, wenn in grösserem Massstab ausgeführt, werden die Kraftlinien von einem Schwimmer vorgeführt. Üeber ein thunlichst

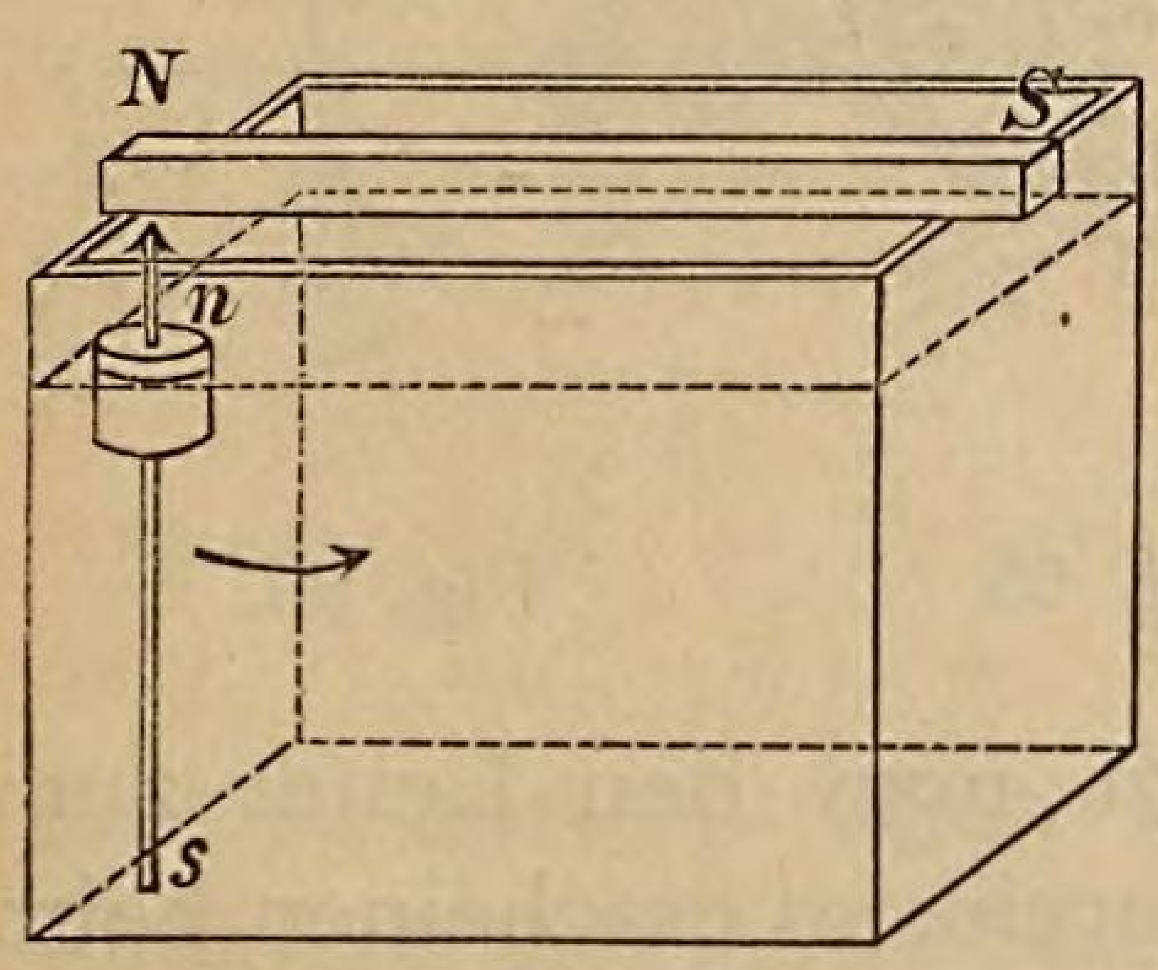


Fig. 93.

grosses Glasgefäss, die Form desselben ist nebensächlich, legt man einen stark magnetisierten Stahlstab; durch einen Kork steckt man eine gleichfalls magnetisierte Stricknadel, so dass sie im eingefüllten Wasser mit ihrer oberen nordpolarenSpitze bis nahe an den Magnetstab reicht. Man hält nun die Nordpolseiten an verschiedenen Stellen des Magnetstabes übereinander, der Schwimmer durchläuft seine entsprechenden Kurven und kommt unter der Südseite zur Ruhe. Gleichgerichtete Kraftlinien stossen also einander ab, ungleichgerichtete dagegen ziehen einander an und suchen einander zu durchdringen.

3. Lässt man durch einen Kupferdraht (Fig. 94),

der durch eine Bohrung einer Glas-, Glimmer- oder Schieferplatte oder einen Karton senkrecht zu diesen geführt ist, einen sehr starken Strom fliessen und streut auf die Platte feine Eisenfeilspäne, so ordnen sich diese bei leichtem Klopfen mit dem Finger auf den Karton nach Kreislinien, deren Mittelpunkt im Leitungsdraht liegt. Es gehen also von einem vom Strom durchflossenen Leiter, wie von einem Stahlmagneten, Kraftlinien (magnetische Wirbel) aus, deren Ebenen aber senkrecht auf dem Leiter stehen.

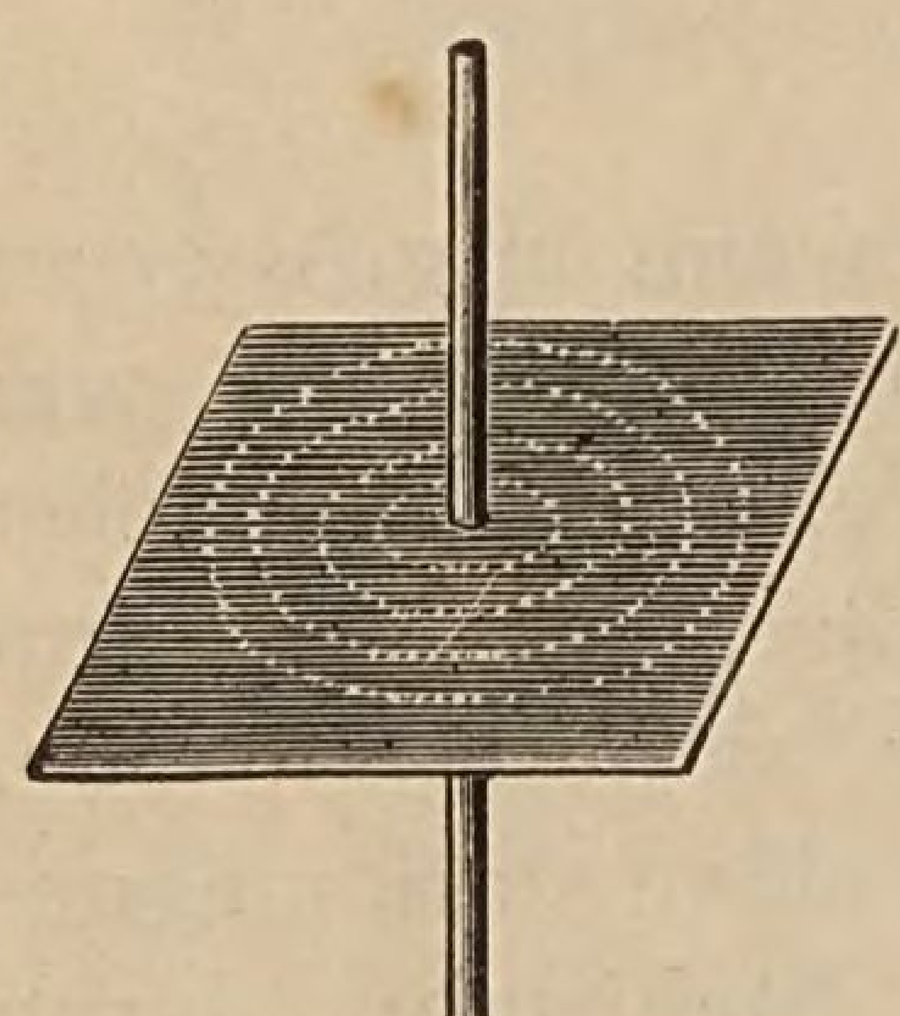

Fig. 94.


Fig. 95.

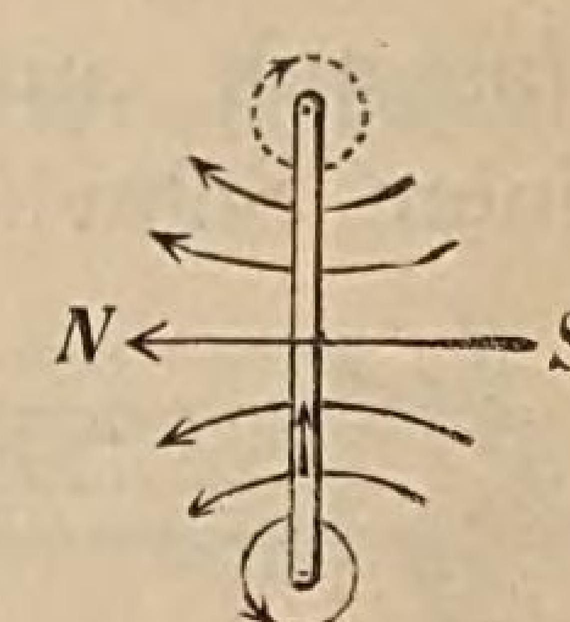


Fig. 96.

4. (Fig. 95 u. 96.) Biegt man den Leiter zum Kreis, legt eine Glasplatte darein, so erscheinen beim Stromschluss wieder Kraftlinien in Kreisform; alle diese Kraftlinien sind in gleichem Sinne gerichtet und das im Ring erhaltene magnetische Feld wird sehr stark sein. Dasselbe Linienbild würde ein Stahlmagnet geben, dessen Länge gleich der Dicke des Leiters und dessen Querschnitt gleich der Fläche des Stromkreises ist.

In diesen Versuchen kann man die Kraftlinien statt mit Eisenfeilspänen auch mittels der Abweichung

einer kleinen Magnetnadel, die man auf der Glasscheibe verschiebt, zur Anschauung bringen.

5. Versuche 2 u. 3 erfordern sehr starke Ströme; mit 2 Tauchelementen lässt sich das galvanische Feld in folgender Weise darstellen: Man wickelt einen etwa 1 cm breiten, dünnen Kupferstreifen zugleich mit einem gleich breiten Band aus Baumwolle, Wolle oder Papier (von Telegraphenrollen) auf einen Cylinder von ungefähr 3 cm Durchmesser auf, giebt der Spirale, je nach den Mitteln, die man aufwenden will, einen äusseren Durchmesser von 10 bis 20 cm

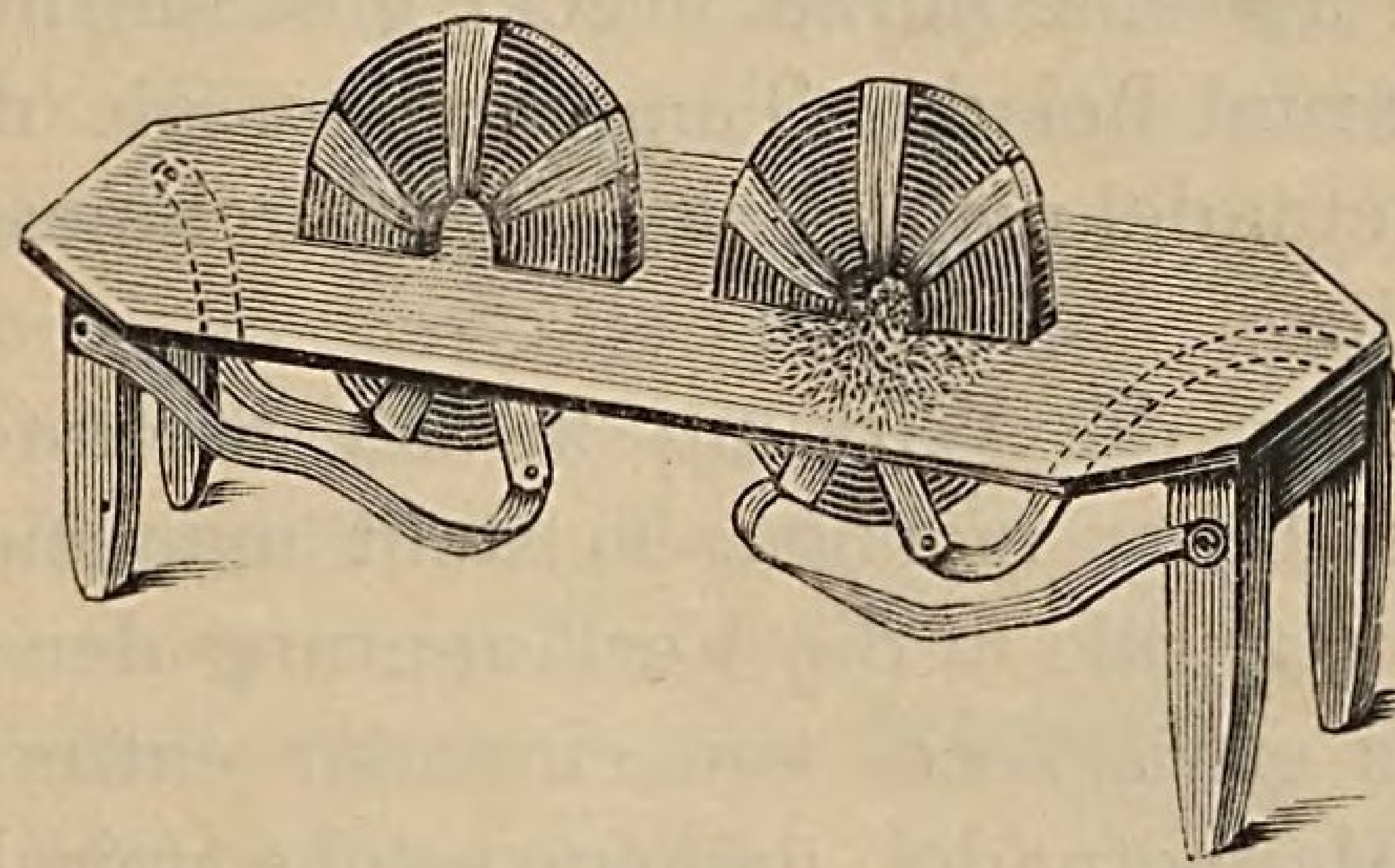


Fig. 97.

und bindet den Ring mit einem strahlenförmig umschlungenen Bande fest. Diese Rolle senkt man (wie Fig. 97 zeigt) nahezu bis zum Mittelpunkt in ein Brett, von dem man mit der Laubsäge so viel herausgesägt hat, dass die Rolle in den Schlitz passt, das, was man um den Mittelpunkt herum zu viel herausgesägt hat, füllt man wieder mit Holz aus oder leimt quer zur Spirale ein Stück Zeichenpapier auf, und an die Leiste leimt oder nagelt man Stellfüsse von dünnem Holz; endlich klemmt man die Enden des Kupferbandes unter die Polklemmen.

Während der Strom zweier hintereinander verbundener Chromsäure-Elemente durch die in den magnetischen Meridian gestellte Spirale fliesst, streut man aus einem Siebe, das man aus einer 2 bis 3 cm weiten, auf einer Seite mit alter lockerer Leinwand geschlossenen Röhre herstellen kann, feine Eisenfeile um die Spirale und in deren Mittelraum, wozu man das Gestell neigt. Ist der Strom schwach, so kommen die Eisenkurven doch zum Vorschein, wenn man mit dem Finger auf den Rahmen klopft. Der Anblick des Eisenfeilbildes zeigt, dass die Stärke des inneren galvanischen Feldes nur auf eine kurze Strecke gleichförmig ist und damit, warum bei der Tangentenbussole die Länge der Magnetnadel nicht $\frac{1}{6}$ des Ringdurchmessers übertreffen soll.

Will man die Wirkung zweier Stromfelder auf einander sichtbar machen, so stellt man eine zweite Kupferbandspirale in die Verlängerung der ersten, so dass beide etwa 1 cm von einander entfernt sind.

Eine Magnetnadel, um eine solche Spirale herumgeführt, wird von beiden Seiten derselben verschieden abgelenkt, während sie an deren Enden vom Stromfelde nicht beeinflusst wird; die Bandspirale verhält sich also wie eine magnetische Scheibe und ist einer solchen äquivalent oder gleichwertig. Vergl. Vierten Versuch.

6. Bringt man eine Drahtspirale, ein Solenoid, wie eine solche zum Vertikalgalvanometer verwendet ist, in ein Glasgefäss, in dem in Glycerin feine Eisenfeilspäne schweben und schickt man einen kräftigen Strom durch das Gewinde, so zeigen diese Feilspäne an, dass die Kraftlinien in einem Bündel sich durch

die Höhlung zusammendrängen und nach aussen geschlossene Kurven bilden (Fig 92a.)

7. Legt man auf die Schenkel eines Hufeisenmagneten wieder eine Glasplatte, streut Eisenfeilspäne auf und bringt zwischen die Pole ein Stück weiches Eisen, so drängen sich die Feilspäne um dieses Eisenstück zusammen und zwar um so mehr, je weicher das Eisen ist (Fig. 98). Der gleiche Versuch lässt sich auch zwischen den Polen eines Stabmagneten anstellen. Das Eisen wird durch die Aufnahme der Kraftlinien magnetisch und zwar zum Magnetpol entgegengesetzt magnetisch; Pol und Eisen ziehen sich demzufolge an. Eisen lässt die magnetischen Kraftlinien oder Kraftströmungen etwa 800 mal leichter durch sich hindurch als Luft, darum drängen sich die Eisenfeilspäne zusammen. Diese grössere Leitungs- und Aufnahmefähigkeit des Eisens gegenüber der Luft nennt man Durchlässigkeit oder P e r m e a b i l i t ä t (per = hindurch, meare = gehen) und bezeichnet sie mit μ(mi). Gehen

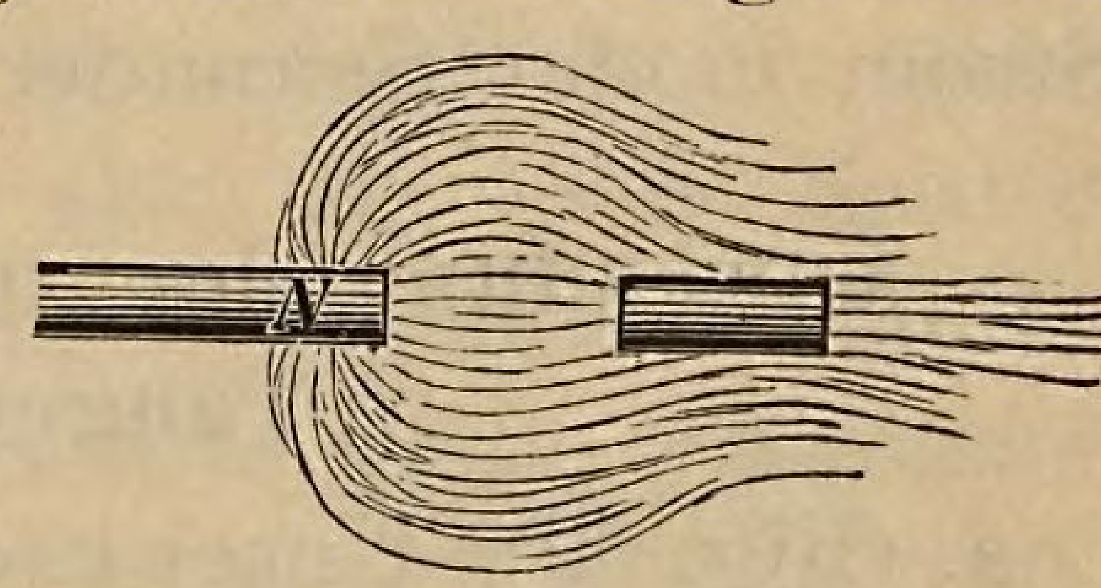


Fig. 98.

durch 1 cm^2 im Inneren eines Solenoids $\mathfrak{H}$ Kraftlinien und bringt man Eisen in den Raum, so nimmt die Kraftlinienzahl zu; es sollen nun $\mathfrak{B}$ Kraftlinien dieses cm^2 durchsetzen; dann ist $\mu = \frac{\mathfrak{B}}{\mathfrak{H}}$ oder $\mu\ \mathfrak{H} = \mathfrak{B}$; μ ist also die Zahl der durch e i n e Kraftlinie des Feldes im Eisen pro cm^2 inducierten Kraftlinien.

Da ein vom Strom durchflossenes Solenoid sich ganz so wie ein Stahlmagnet verhält, so erklärt sich hieraus die Einziehung von Eisenfeilen in Drahtrollen.

8. Zusammenfassung. 1. Magnete und Ströme senden Kraftlinien aus; 2. Magnete und stromdurchflossene Drähte ziehen Eisenfeilspäne an; 3. Eine Magnetnadel und ein stromdurchflossenes Solenoid stellen sich von Nord nach Süd, d. h. in den magtischen Meridian. 4. Ströme verhalten sich ähnlich zu einander wie Magnete. Vergl. gekreuzte Ströme; 5. Da die Erde magnetisch ist, muss sie von Ost nach West von elektrischen Strömen umflossen sein.

9. Die Ursache des elektromagnetischen Feldes liegt in der anhaltenden Bewegung der Elektricitätsmenge längs der Strombahn. Eine auf einer Metallkugel befindliche und mit der Geschwindigkeit von 300 000 Km in der Sekunde rotierende Elektricitätsmenge bringt dasselbe magnetische Feld hervor wie die gleiche Elektricitätsmenge, die als Strom in der Sekunde in diesem Kreis herumfliesst.

Anwendung der vorigen Versuche auf die Tangentenbussole.

a. (Fig. 99). Unser kreisförmiger Leiter ABC werde in den magnetischen Meridian gestellt und in dessen Mittelpunkt hänge an einem Kokonfaden ein kleiner Magnet, der so kurz ist, dass seine Länge gegen den Durchmesser des Rings vernachlässigt werden kann, sie betrage nur $\frac{1}{20}$ desselben; in diesem Falle wird die Nadel in einem vom Strom erzeugten gleichförmi-

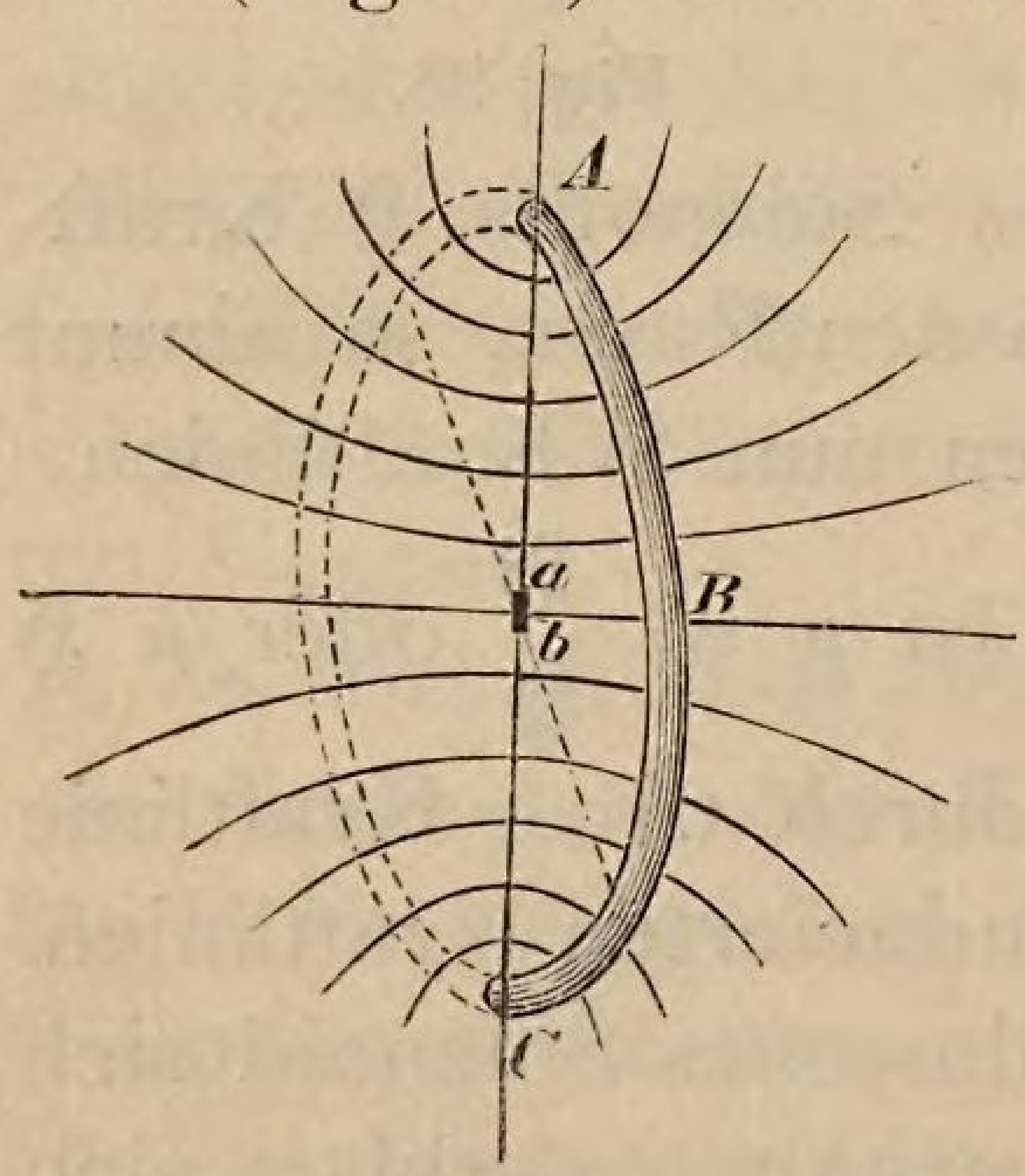


Fig. 99.

gen magnetischen Felde schweben, dessen Kraftlinien senkrecht zu ihr verlaufen. Nun wächst die Stärke des magnetischen Feldes im geraden Verhältnis mit der Stromstärke; die Nadel wird also aus ihrer Lage um einen um so grösseren Winkel abgelenkt, je beträchtlicher die Stromstärke wird.

b. Die genaueren Beziehungen der Stromstärke und des Ausschlagswinkels der Magnetnadel zu einander ergeben sich aus folgenden Überlegungen. Die Richtkraft der Erde auf die Pole der Nadel ist konstant und kann (Fig. 100) durch eine Strecke OB dargestellt werden. Der in der Ebene des Meridians fliessende Strom erzeugt ein magnetisches Feld, dessen Kraftlinien senkrecht auf die des Feldes der Erde wirken. Die Wirkung des Stromes kann somit durch eine Strecke OA bezeichnet werden, die senkrecht zu OB steht. Auf einen Pol der Nadel wirken also die zwei Kräfte OB und OA und ihre Richtung fällt, nach dem Gesetz des Parallelogramms der Kräfte, in die Diagonale OC und ihr Ablenkungswinkel ist gleich α (Fig. 100).

Verdoppelt man die Stärke des Stromes, der durch den Leiter fliesst, so ist seine Wirkung auf die Nadel gleich $OA' = 2\ OA$ und da die Wirkung der Erde konstant ist, so fällt die Nadel in die Richtung OC′ und ihr Ausschlag ist gleich α'. Die verlängerte Nadel wird also die Strecke $BC' = 2\ BC$ abschneiden. Die Strecken BC, BC′ u. s. w. sind das, was man in der Trigonometrie die Tangenten der Winkel α, α' u. s. w. nennt.

Kennt man nun in einem nach diesen Erklärungen konstruierten Apparat die Stromstärke zu einem

Ablenkungswinkel der Nadel, so kann man hieraus die zu allen anderen Winkeln gehörigen Stromstärken nach dem Tangentengesetz berechnen. Aus diesen Gründen nennt man diese Instrumente Tangentenbussolen.

c. Um nicht zu den Ablenkungswinkeln des Instruments die Tangententabelle beständig nachschlagen zu müssen, teilt man die eine Hälfte der Kreisteilung in folgender Weise ein. An den Viertel-

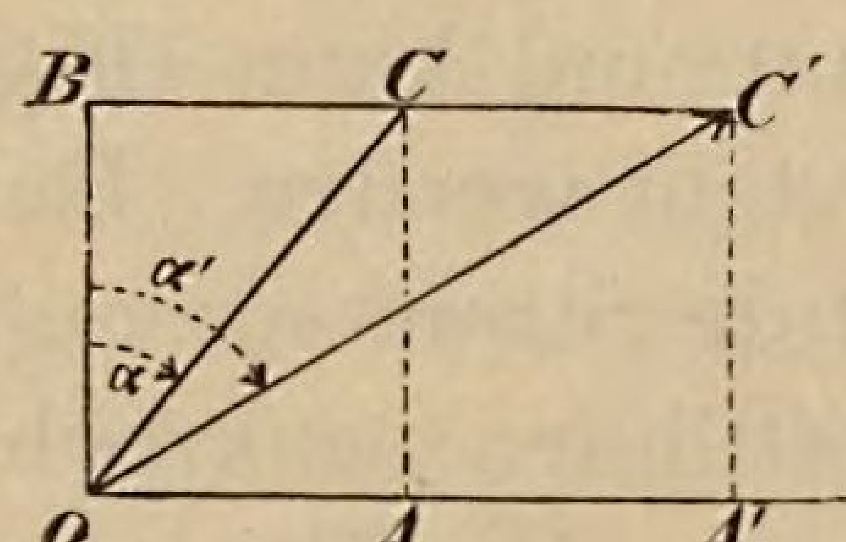


Fig. 100.

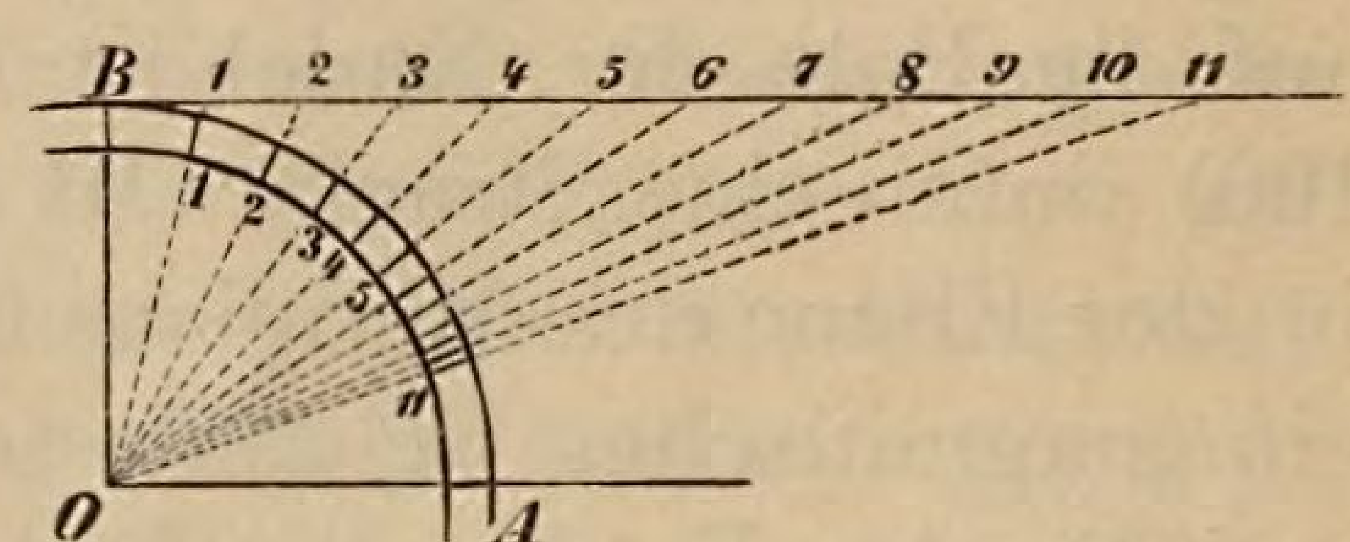


Fig. 101.

kreis OBA zieht man zu dem Halbmesser OB die Tangente, trägt auf dieser gleiche Strecken ab und verbindet die Teilpunkte mit dem Mittelpunkt des Kreises (Fig. 101).

Sollen die Teile auf dem Bogen nicht nur den Tangenten der Winkel proportional sein (Fig. 101), sondern gleich den Tangenten, die den Bogen entsprechen; so macht man die Tangente gleich dem Radius (Tangente $45^0 = 1$; Tangententabelle), teilt sie in 45 gleiche Teile, trägt noch 45 solcher Teile auf der Verlängerung ab und verbindet die Teilpunkte wieder mit dem Mittelpunkt. Das Zusammendrängen der Tangentenskala in den höheren Teilen zeigt, wie ungenau die Ablesungen daselbst werden.

Mechanische Darstellung des Tangentengesetzes.

a. Das kurze Holzstück NS (Fig. 102) stelle die Magnetnadel vor; es ist in C um einen Stift leicht drehbar. An N wirken zwei Kräfte ein: das Gewicht G und die veränderlichen Gewichte, die man in die Wagschale W legt. Die Höhe der Rolle R

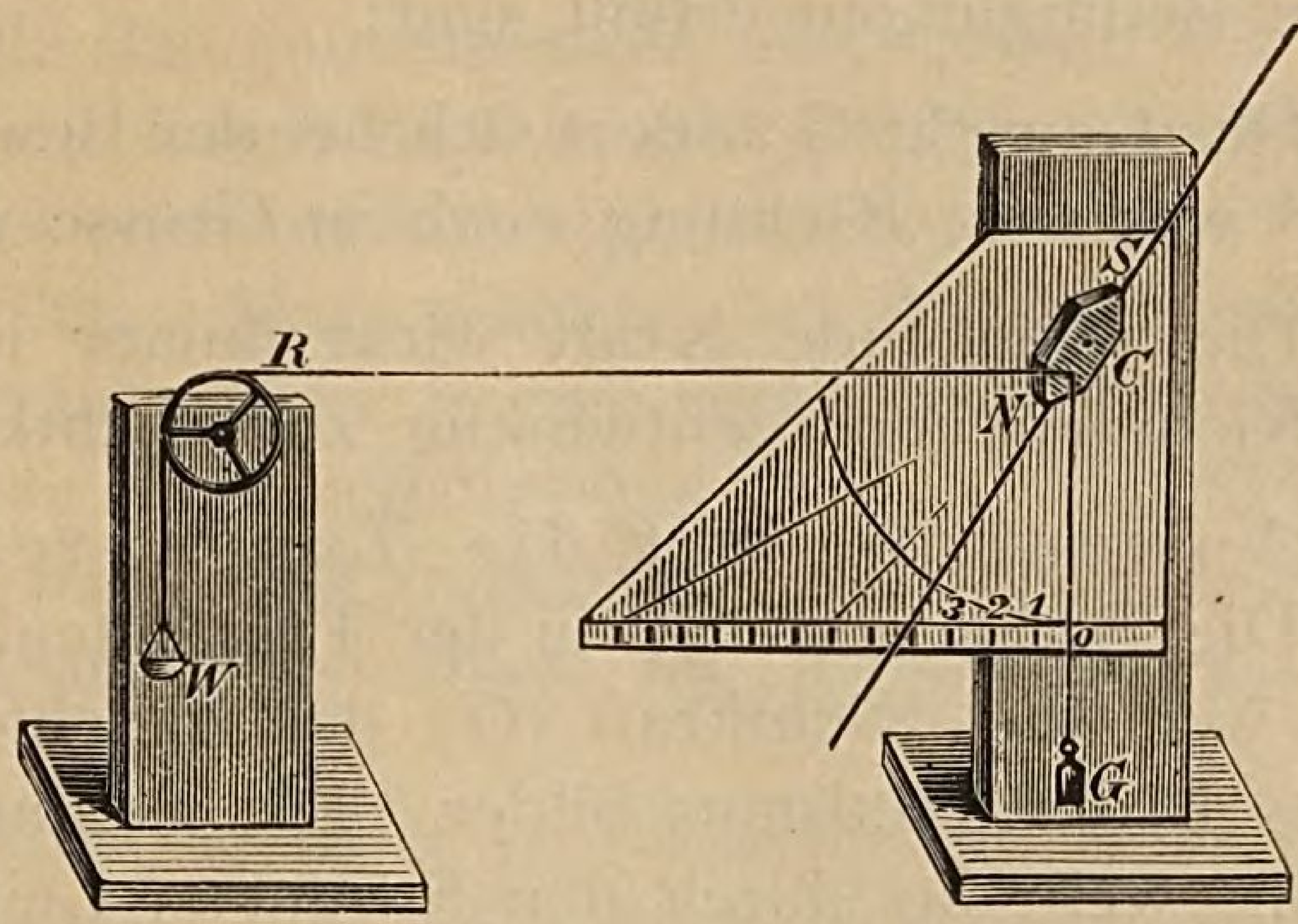


Fig. 102.

ist so bemessen, dass der lange Teil der Schnur (RN) wagrecht läuft, wenn NS senkrecht steht, d. h. wenn kein Gewicht in der Schale liegt. Ist die Rolle gehörig weit von NS entfernt, so bleibt die Schnur RN horizontal, selbst wenn NS um einen Winkel abgelenkt wird. Der dünne Zeiger an NS spielt über einer horizontalen, in gleiche Strecken eingeteilten Skala. Zeigt der Zeiger auf 1, wenn z. B. 1 g in die Wagschale gelegt wird, so weist er bei dem doppelten Gewicht auf 2, bei dem 3fachen Gewicht auf 3 u. s. w.

A m genauesten trifft dies zu bei einem A blenkungswinkel von 45^0. Bei 45^0 entspricht

einer Änderung in der Stromstärke die grösste Ablenkung der Nadel; 45° ist demnach der Empfindlichkeitswinkel der Tangentenbussole.

Die ablenkenden Gewichte sind also proportional den Skalenteilen 01, 02, 03 u. s. w., und da diese Tangenten sind, so gilt das Tangentengesetz, weil folgende Bedingungen erfüllt sind:

1) Das Gewicht G ändert sich bei der Bewegung von NS weder in Richtung noch in Grösse und

2) Die ablenkende Kraft wirkt immer in derselben Richtung und rechtwinklig zur Richtkraft.

b. Anwendung auf die Tangentenbussole. Die Bedingung 1 ist in der Tangentenbussole erfüllt, weil die Richtkraft (G) das gleichförmige Feld des Erdmagnetismus bildet. Die Bedingung 2 ist erfüllt, weil die durch den Strom im Leiter erzeugten ablenkenden Kraftlinien senkrecht zu der Windungsebene und senkrecht zu der Nadel stehen.

c. Der angegebene Apparat kann aus zwei Cigarrenkästchen zusammengestellt werden. An das eine leimt man ein Holzstück von etwa 1 cm Dicke und 3 cm Länge und in dieses steckt man den Stift, um den sich die Holznadel NS in C dreht. Bei N ist ein kurzer Stift eingeschlagen und daran das Gewicht G (5 bis 10 g) mittels Faden gehängt und die Schnur zur Rolle R angeknüpft. Die Skala, über welcher der Nadelzeiger schwingt, wird auf ein Stück Karton aufgezeichnet. Die Rolle, leicht und mit wenig Reibung drehbar, hat etwa 3 cm Durchmesser und dreht sich auf dem andern

Kästchen um einen Stift. Es wird soweit vom ersten gestellt, dass der Faden RN auch bei grösseren Ausschlagswinkeln von NS horizontal bleibt. Die Wagschale kann ein Stück Karton sein.

Eichung der Tangentenbussole mit dem Kupfervoltameter.

Die Tangentenbussole wird ausser der Berechnung aus ihrem Radius und den Fernwirkungen des Stromes noch aus dessen chemischen Wirkungen geeicht. Man schaltet zu diesem Zwecke ein Kupfervoltameter in den Stromkreis und berechnet aus dem Kupferniederschlag auf der negativen Elektrode, wie früher angegeben, die zu einem beobachteten Ausschlagswinkel der Nadel gehörige Stromstärke.

Dabei ist noch zu bemerken: Die 3 Bleche des Voltameters (Fig. 73) müssen möglichst parallel und zur Verminderung des Widerstandes ziemlich nahe zusammengestellt sein, doch nicht so nahe, dass das sich ausscheidende Kupfer von einem Blech zum andern hinüber wachsen kann.

Die reine Kupfervitriollösung darf nicht so konzentriert sein, dass sich bei Abkühlung oder Verdunstung Kristalle ausscheiden.

Die Kathode muss vor den Wägungen sorgfältig gereinigt werden. Es ist ratsam, die Wägungen je nach 10 bis 12 Minuten zu wiederholen.

Der Kupferniederschlag werde sorgfältig getrocknet; man presst ihn zunächst zwischen Fliesspapier und wägt, erwärmt gelinde und wägt wieder.

Stromdichte ist die auf die Flächeneinheit

der Oberfläche bezogene Elektricitätsmenge; man rechnet auf hier 1 dm^2 Kathodenfläche 2,5 Ampère.

Beispiel. 1. Ringhalbmesser R = 167 mm; Nadellänge = 28 mm.

2. Versuch: In 6 Minuten wurden ausgeschieden 0,0508 g und der Nadelausschlag betrug 12°.

3. Berechnung: Wenn in 6 Minuten 0,0508 g ausgeschieden wurden, so kommen auf 1 Stunde 10 · 0,0508 = 0,508 g.

1,181 Cu entsprechen 1 Amp., somit

0,508 „ „ 0,430 Amp.

Nun ist C (Constante) $= \frac{0{,}430}{\text{tg. } 12^0} = 2{,}023.$

4. Bei 45° beträgt also die Stromstärke 2,023 Amp., weil tg. (Tangente) 45° = 1.

Bei 1° ist die Stromstärke $J_1 = 2{,}023 \cdot \text{tg } 1^0 = 0{,}035$ Amp.

„ 2° „ „ „ $J_2 = 2{,}023 \cdot \text{tg } 2^0 = 0{,}070$ „

„ 3° „ „ „ $J_3 = 2{,}023 \cdot \text{tg } 3^0 = 0{,}106$ „

Wird eine Tangentenbussole mit Hilfe einer schon geeichten bestimmt, so sind beide hintereinander zu schalten; Voltameter dagegen werden parallel geschaltet. (Fig. 105 u. 107.)

Nebenschluss für eine Tangentenbussole. (Fig. 80.) Mehrere (9) gleich lange Kupferdrähte von demselben Querschnitt und dem Widerstand der Tangentenbussole werden parallel in den zu messenden Strom eingeschaltet (an den Enden an Querstangen gelötet), die Tangentenbussole bildet den 10ten dieser Drähte; der ganze Strom ist dann das 10fache des gemessenen.

Graphische Darstellung der Resultate.

(Fig. 103.) Trägt man in der Richtung OA die verschiedenen, an der Tangentenbussole abgelesenen Stromstärken in Amp. oder die Tangenten der Ablenkungswinkel auf, die man erhält, wenn man zwischen Batterie und Bussole Widerstände einschaltet, und in der dazu senkrechten Richtung die in derselben Zeit, hier je 1 Minute, niedergeschlagenen Kupfermengen aufträgt, und zieht man je zwei Parallelen, so liegen die Schnitte dieser Parallelen auf derselben Geraden OB. Daraus lernen wir

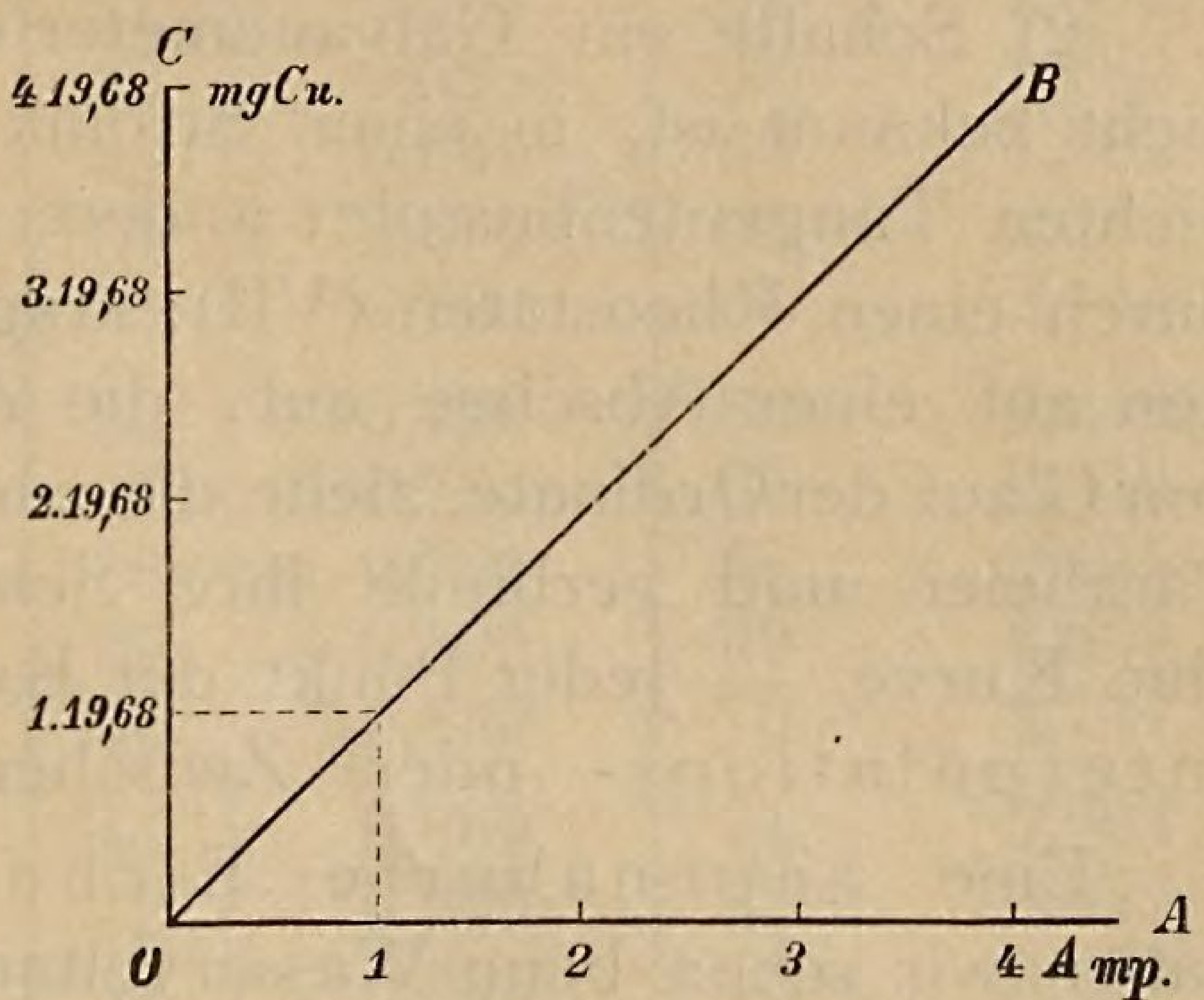


Fig. 103.

1) dass die ausgeschiedenen Kupfermengen proportional sind den zugehörigen Stromstärken; Gesetz von Faraday;

2) dass wir aus dieser Darstellung die zusammengehörigen Niederschläge und Stromstärken für alle Zwischenstufen ohne weitere Versuche ablesen können (Interpolations- oder Zwischenschaltungsmethode), und

3) dass, wenn zwei zusammengehörige Parallelen sich nicht in OB treffen, ein Fehler im Versuche vorliegt.

Man nennt OA die Abscisse und OC die Ordinate (abscindĕre = abschneiden).

Aufgaben. 1) Schreibe die Stromstärken und die ausgeschiedenen cm^3 Knallgas auf und trage die zusammengehörigen Werte in ein rechtwinkliges Koordinatensystem. Statt der Stromstärken trägt man die Tangenten der Ablenkungswinkel auf.

2) Schalte ein Galvanometer G, dessen Gesetz nicht bekannt ist, in einen Stromkreis mit der geeichten Tangentenbussole; ändere die Stromstärken durch einen Rheostaten (VII); trage die Stromstärken auf einer Abscisse auf, die Ablenkungswinkel von G auf der Ordinate, ziehe die zusammengehörigen Parallelen und verbinde ihre Schnittpunkte durch eine Kurve. — Jeder Punkt der Kurve ist dann ein Interpolations- oder Zwischenschaltungspunkt.

Eine angenäherte Eichung der Bussole haben wir schon beim Wasservoltameter angedeutet mit der Regel:

„Die Zahl der in 1 Sekunde ausgeschiedenen cm^3 Knallgas, mit 5 multipliziert, giebt die Stromstärke in Ampère.“

Genauere Resultate erhält man mit dem Silbervoltameter, da ein Strom von 1 Amp. in 1 Stunde 4,025 g ausscheidet; doch die Materialien sind teuer.

Anwendungen der Tangentenbussole; Bestätigung des Ohm'schen Gesetzes.

Ist J = Stromstärke, E = elektromotorische Kraft, R_i = Widerstand im Element und der Bussole und R_a = Widerstand des Leitungsdrahtes, so ist

$$J = \frac{E}{R_i + R_a}$$

Tangenten-Tabelle.

Radius = 1.

Winkel-Grade	Tangenten	Winkel-Grade	Tangenten	Winkel-Grade	Tangenten
1	0,017	31	0,601	61	1,804
2	0,035	32	0,625	62	1,880
3	0,052	33	0,649	63	1,962
4	0,070	34	0,674	64	2,050
5	0,087	35	0,700	65	2,144
6	0,105	36	0,726	66	2,246
7	0,123	37	0,753	67	2,356
8	0,140	38	0,781	68	2,475
9	0,158	39	0,809	69	2,605
10	0,176	40	0,839	70	2,747
11	0,194	41	0,869	71	2,904
12	0,212	42	0,900	72	3,077
13	0,231	43	0,932	73	3,271
14	0,249	44	0,965	74	3,487
15	0,268	45	1,000	75	3,732
16	0,287	46	1,035	76	4,010
17	0,305	47	1,072	77	4,331
18	0,325	48	1,110	78	4,704
19	0,344	49	1,150	79	5,144
20	0,364	50	1,191	80	5,671
21	0,384	51	1,235	81	6,314
22	0,404	52	1,280	82	7,115
23	0,424	53	1,327	83	8,144
24	0,445	54	1,376	84	9,514
25	0,466	55	1,428	85	11,430
26	0,488	56	1,482	86	14,300
27	0,509	57	1,540	87	19,081
28	0,531	58	1,600	88	28,636
29	0,554	59	1,664	89	57,290
30	0,577	60	1,732	90	unendlich.

Schaltet man statt R_a den Widerstand R_a' ein, so ist wieder

$$J' = \frac{E}{R_i + R_a'}$$

Aus beiden Gleichungen folgt

$$R_i = \frac{J' \cdot R_a' - J \cdot R_a}{J - J'}.$$

R_i muss bei Anwendung derselben Bussole und des gleichen Elementes konstant sein.

Beispiel: Ein Daniell-Element gab bei

Ra in cm Neusilberdraht	Ablenkungswinkel $= \alpha$;	$J = tg\alpha$	Ri
0	$38^0\,45'$	0,802	272,4
39,7	35^0	0,700	
106	25^0	0,577	271,3

R_i ist also ziemlich konstant, woraus die Richtigkeit des Ohm'schen Gesetzes folgt.

Tangentenbussole; den Leitungswiderstand eines Elementes zu bestimmen.

Ein Element habe, an der Tangentenbussole ermittelt, die Stromstärke $J = \frac{E}{R_i}$. Man schalte nun so viel Neusilberdraht ein, dass die Tangente des Ablenkungswinkels noch die Hälfte der ursprünglichen betrage, so hat man

$$\frac{J}{2} = \frac{E}{R_i + R_a}.$$

Aus beiden Gleichungen folgt $R_i = R_a$.

Beispiel:

Eingeschaltete Drahtlänge Ra in cm	Ablenkungswinkel	Tangentenwerte
0	$37^0\,45'$	$J = 0,774$
340	$21^0\,10'$	$\frac{J}{2} = 0,387$

$R_i = R_a$ = dem Widerstand des eingeschalteten Drahtes von 340 cm Länge, welche Länge noch in Ohm auszudrücken ist.

Der Widerstand der Bussole und der Zuleitungsdrähte muss so gering sein, dass er gegen den des Elements vernachlässigt werden kann.

Tangentenbussole; Widerstand derselben.

Man habe zwei konstante Elemente, deren Stromstärken ungleich sind. Ist i die Stromstärke des schwächeren Elements und R_i der Widerstand im Element samt den zur Bussole führenden Drähten und x der Widerstand der Bussole, so steht

$$i = \frac{E}{R_i + x}.$$

Nun bringt man das stärkere Element in Verbindung mit der Bussole und schaltet zugleich einen Widerstand R ein, so dass die Stromstärke dieselbe ist wie früher, dann hat man

$$i = \frac{R}{R_i + x + R}.$$

Hierauf verbindet man beide Elemente zu einer Kette und bringt die Stromstärke durch den Widerstand R′ wieder auf i, so ist

$$i = \frac{E + E'}{R_i + x + R + R'}.$$

Aus diesen Gleichungen folgt $x = R' - R$.

B e i s p i e l. Ein Element gab eine Ablenkung $= 37^0\ 45'$; ebenso ein stärkeres mit dem Widerstand R = 15,5 cm und ebenso beide mit dem Widerstand R′ = 59,5 cm. Der Widerstand x der Bussole ist

also = 59,5 — 15,5 = 44 cm Neusilberdraht, welche Länge noch in Ohm-Einheiten auszudrücken ist.

Dass man den Widerstand irgend eines Galvanometers, sowie den Widerstand eines metallischen Leiters nach der angegebenen Methode bestimmen kann, ist selbstverständlich. Man braucht nur das betreffende Galvanometer in den Schliessungskreis des Elements, in welchem sich bereits ein anderes Galvanometet befindet, einzuschalten. Hier wurde nur der Fall vorausgesetzt, dass die Tangentenbussole allein in den Schliessungskreis eingeschaltet worden ist.

Tangentenbussole; die Leitungsfähigkeit von Metallen zu bestimmen.

Hat man den Widerstand eines Elementes samt dem der Tangentenbussole und den der Zuleitungsdrähte = R_i bestimmt, so ist

$$J = \frac{E}{R_i}.$$

Schaltet man nun in den Schliessungsdraht den Draht ein, dessen Widerstand x zu bestimmen ist, und giebt eine solche Länge R an Neusilberdraht bei, dass die Stromstärke auf $\frac{J}{2}$ herabsinkt, so hat man

$$\frac{J}{2} = \frac{E}{R_i + x + R};$$

wobei die Länge des zu messenden Drahtes so genommen werden muss, dass dieselbe nicht schon allein die anfängliche Stromstärke auf $\frac{J}{2}$ bringt. Aus beiden Gleichungen folgt $x = R_i - R$.

Für einen zweiten Draht erhält man $R_i - R'$; woraus das Verhältnis $(R_i - R) : (R_i - R')$.

Um die Leitungsfähigkeit verschiedener Drähte vergleichen zu können, geht man von dem Normal-Querschnitt 1 mm^2 aus. Besitzen sie diesen nicht, so muss ihre Länge auf diesen Querschnitt reduziert werden. Ist q der Querschnitt in mm^2 und l die Länge des Drahtes, so ist die auf den Einheitsquerschnitt reduzierte Länge, welche denselben Widerstand besitzt, $l' = \frac{l}{q}$.

Tangentenbussole; Vergleichung der EMKe zweier galvanischer Elemente.

Die EMKe zweier verschiedener Elemente verhalten sich zu einander wie die Stromstärken, die sie in demselben Widerstand hervorbringen: $E : E' = J : J'$.

Die Summe der Widerstände der Tangentenbussole und des äusseren Stromkreises muss hinreichend gross sein, damit sich die Elemente während des Versuchs nicht merklich polarisieren und damit der innere Widerstand gegen den Gesamtwiderstand vernachlässigt werden kann.

Beispiele. 1) Ein Daniell-Element zeigte an einer Tangentenbussole 8° Ablenkung; damit ein Bunsen-Element ebenfalls 8° Ablenkung gab, wurden 14,10 cm Neusilberdraht eingeschaltet. Um beide Elemente nach einander auf 7° Ablenkung zu bringen, wurden beim Daniell-Element 70 und beim Bunsen-Element 151 cm Neusilberdraht eingeschaltet; daher verhalten sich $E : E' = 70 : 151 = 1 : 2{,}157$.

2) Man soll die EMK eines Bunsen-Elementes

E_b mit der eines Daniell-Elementes $E_d = 1$ vergleichen; beide Elemente geben hintereinander geschaltet an einer Tangentenbussole einen Ausschlag von 33° ($J_1 = tg\,33^0$) und gegeneinander geschaltet von 7° ($J_2 = tg\,7^0$).

$$R \cdot J_1 = E_b + E_d$$
$$R \cdot J_2 = E_b - E_d$$
$$\frac{E_b + E_d}{J_1} = \frac{E_b - E_d}{J_2}$$
$$E_b = E_d \cdot \frac{J_1 + J_2}{J_1 - J_2}.$$
$$E_b = 1 \cdot \frac{tg\,33^0 + tg\,7^0}{tg\,33^0 - tg\,7^0}$$
$$= 1 \cdot \frac{0{,}649 + 0{,}123}{0{,}649 - 0{,}123}$$
$$= 1{,}83$$

Ein Spannungsmesser, Voltmeter. (Faraday 1835.)*

Füllt man den Tangenten-Ring (Fig. 90) mit sehr feinem, seidenisolierten Kupferdraht von 0,083 mm Durchmesser in 50 Windungen auf, so dass der Widerstand des Ringes 100 Ohm beträgt; dann entspricht einem Nadelausschlag von 45° eine Stromspannung von 10 Volt.

Bei Draht von 0,1 mm Durchmesser werden nach der Drahttabelle 100 Ohm durch 47,6 m dargestellt; zu den 50 Windungen sind aber nur 33,7 m nötig, also können 13,9 m nicht auf den Holzring gewickelt werden; man wickelt diese somit auf eine kleine Holzspule bifilar und leimt diese auf das Grundbrett.

5 Ampère-Windungen lenken die Nadel um 45°

*) Man unterscheide wohl: Voltameter und Voltmeter.

ab; ebenso 50 Windungen, durch die $\frac{1}{10}$ Ampère fliesst. $\frac{1}{10}$ Amp. $= \frac{10\ V}{100\,\Omega}$. — Den Rest von 13,9 m Kupferdraht kann man durch einen kürzeren Neusilberdraht ersetzen.

Lässt man in der Nute die 5 Windungen dickeren Drahtes, legt darüber den dünnen Draht und führt jedes Paar Enden zu Polklemmen, so sind Ampère- und Voltmeter in demselben Instrument vereinigt.

Da auch bei diesem Voltmeter das Tangentengesetz gilt, so können die Werte anderer Nadelabweichungen aus der Tangententabelle berechnet oder an der Tangententeilung der Bussole direkt abgelesen werden.

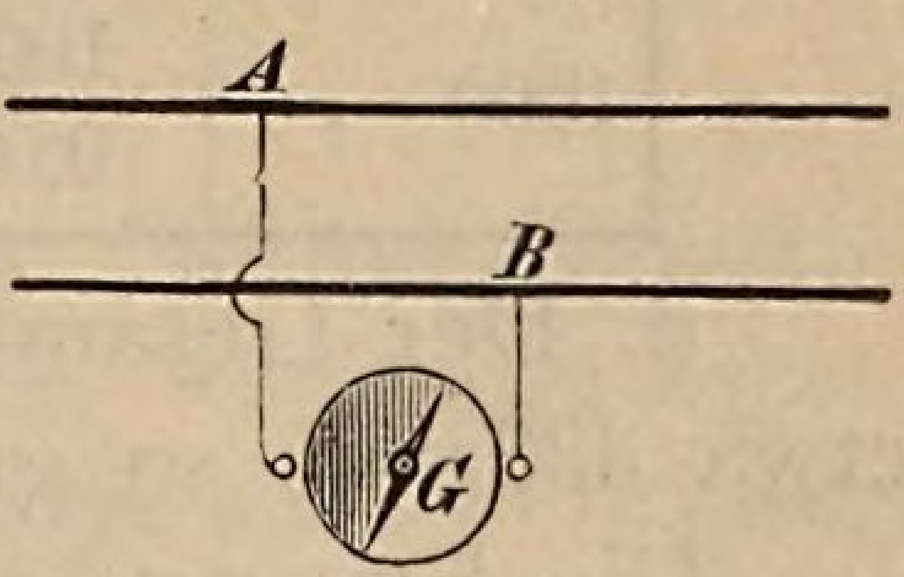


Fig. 104.

Während das Ampèremeter in den Hauptstrom A oder B eingeschaltet wird, lässt man durch das Voltameter nur eine Zweigleitung desselben fliessen. (Fig. 104 u. S. 158,4.)

Voltmeter-Berechnung nach H. Kratzert. Die Widerstände der Voltmeter bestehen aus Kupfer, dem wirksamen Widerstand, und aus Neusilber, dem Zusatzwiderstand.

a. 1 mm² Neusilber werde etwa mit 1 Amp. beansprucht.

b. Der Durchmesser des Neusilberdrahtes betrage 0,2 m (0,0314 mm² Querschnitt).

c. Der wirksame Widerstand messe 400 Ohm.

Beispiele.

Maximale Spannung	Gesamtwiderstand $R = \frac{E}{J}$	Zusatz-widerstand
10 volt	$\frac{10}{0,03} =$ 333 Ohm	0 Ohm
50 "	$\frac{50}{0,03} =$ 1666 "	1266 "
100 "	$\frac{100}{0,03} =$ 3333 "	2933 "
200 "	$\frac{200}{0,03} =$ 6666 "	6266 "
1000 "	$\frac{1000}{0,03} =$ 33333 "	32933 "

d. Der Gesamtwiderstand eines Voltmessers ist etwa 333 mal so gross als die maximale Spannung.

Die Spannung E wird mit einem Galvanometer indirekt gemessen, indem man die Stromstärke J in Amp. und den Widerstand R des Stromkreises in Ohm bestimmt; $E = J \cdot R$. Mit jedem Galvanometer, dessen Angaben in absolutem Maasse bestimmt sind, ist es möglich, Spannungen zu messen. Man fügt dem Galvanometer (Tangentenbussole) verschiedene Widerstände zu, so dass man verschieden grosse Spannungen messen kann.

Eichung der Voltmeter.

a. Mit Normalelement nach Poggendorff. (Fig. 105.) B sei eine Batterie, die aus hinter einander geschalteten Elementen besteht. Von dem Neusilberdraht ac aus, der 0,5 bis 1 mm Durchmesser hat und einen Teil der Leitung der Batterie

bildet, ist das zu eichende Galvanometer (Voltmeter) G' in eine Zweigleitung eingeschaltet und zwar so, dass a b = 1000 mm misst; in die andere Zweigleitung sind ein Schlüssel S, ein Galvanometer G^2

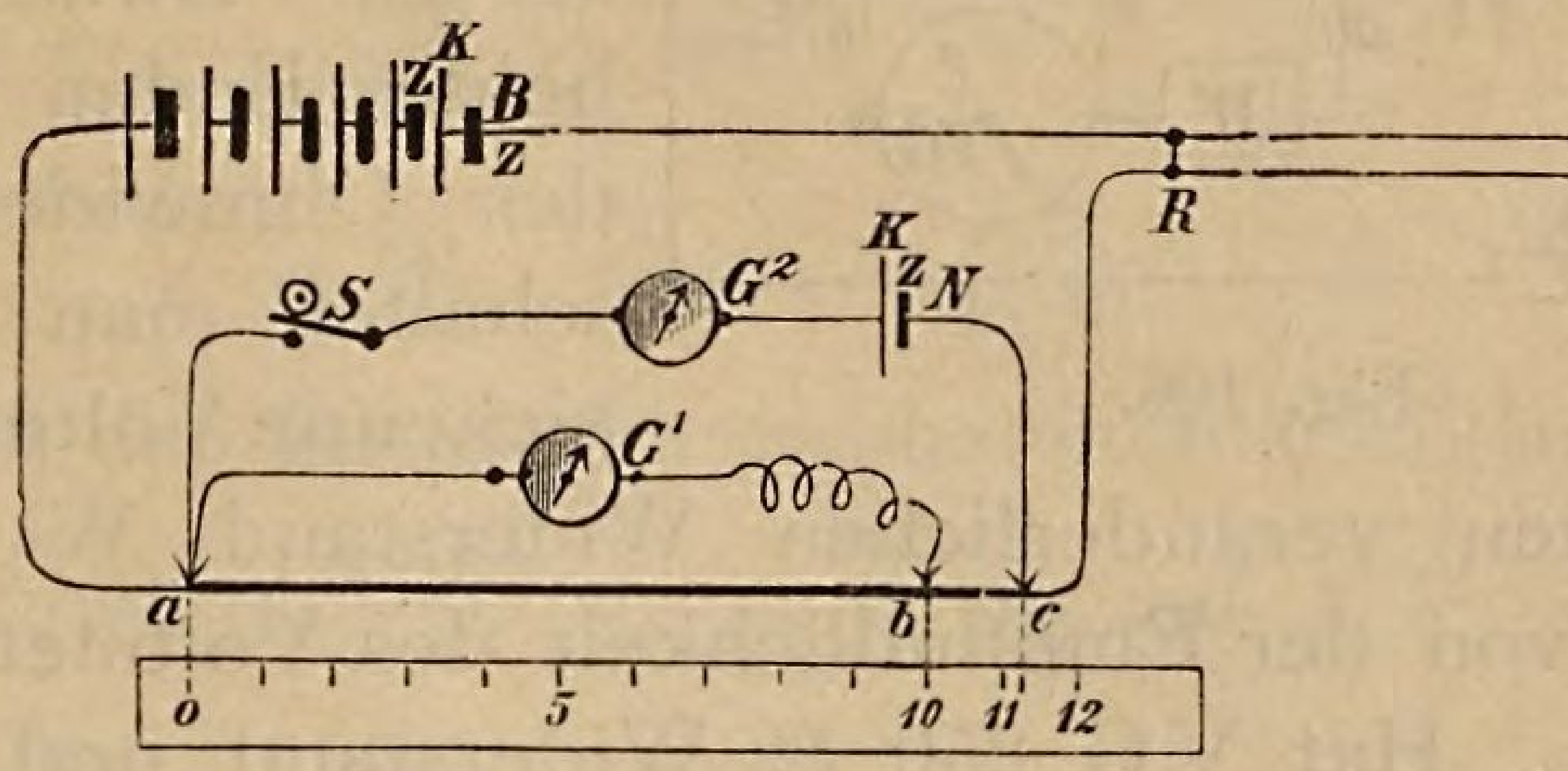


Fig. 105.

von hohem Widerstand und das Normal-Daniell-Element N ein- und der Batterie entgegengeschaltet und zwar beträgt die Länge ac = 1110 mm; abc ist neben einem Maassstab ausgespannt; c kann auf dem Neusilberdraht verschoben werden. Der Verbindungsstreifen R wird nun auf seinen Widerstandsdrähten verschoben, bis in G^2 kein Strom vorhanden ist; dann beträgt der Spannungsunterschied zwischen a b ein Volt, da ein Normal-Daniell-Element = 1,110 Volt ist. 1110 mm entsprechen 1,110 Volt und 1000 mm 1 Volt. Der Kontakt c wird durch S nur zeitweise geschlossen, damit der Strom in N konstant bleibt. In diesem Falle ist die EMK des Elementes gleich der Klemmen-(Pol-)spannung.

b. Mit Kupfervoltameter (Fig. 106). Das Prinzip. Man schickt den Strom einer Batterie B von geringem inneren Widerstand und konstanter elektromotorischer Kraft durch ein Voltameter V mit Kupfervitriollösung, dessen negative Elektrode ge-

wogen ist, durch einen Widerstand w, der gleich 1 Ohm ist und so dick, dass er sich durch den Durchgang des Stromes nicht erwärmt, und schliesst und öffnet mit dem Schlüssel S. Zwischen die beiden Enden a und b des Ohmwiderstandes schaltet man das zu eichende Voltmeter VG und einen veränderlichen Widerstand W, dessen Grösse von der Empfindlichkeit des Voltmeters VG abhängt. Hat VG 250 Ω Widerstand und ist die Stromstärke, die durch a b fliesst, 1,8 Ampère, so wird W bis 10 000 Ω betragen.

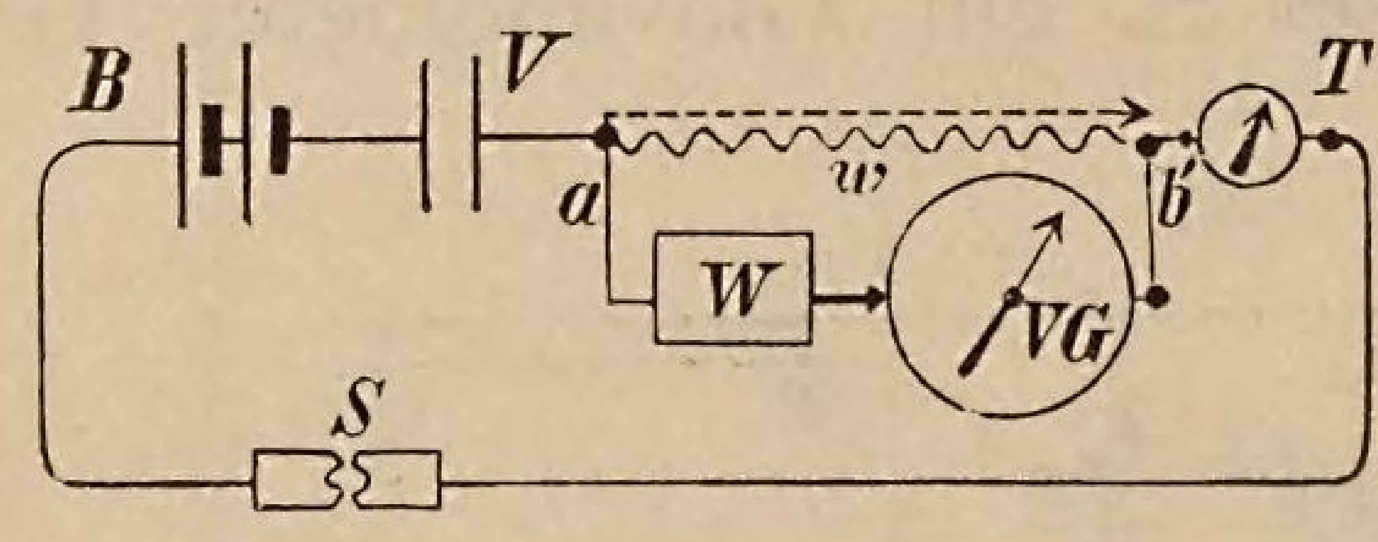


Fig. 106.

Beträgt der Strom, der durch a b fliesst und an der Tangentenbussole T abgelesen wird, 1,8 Amp., so ist die Spannung zwischen a b nach dem Ohmschen Gesetz = 1,8 V; denn 1,8 Amp. = $\frac{V}{1}$, woraus

$$V = 1 \cdot 1{,}8 = 1{,}8 \text{ Volt.}$$

Man ändert den Widerstand W so, dass die Ausschläge des Voltmeters VG innerhalb der Skala bleiben.

D e r V e r s u c h. Man schliesst den Strom durch den Schlüssel S während einer halben Stunde, notiert die Tangenten- und Voltmeter-Ausschläge alle Minuten oder alle zwei Minuten, um sich zu versichern, ob der Strom konstant bleibt.

Nach Verfluss der halben Stunde unterbricht man den Strom, wiegt die negative Elektrode wieder, sie habe um p Gramm zugenommen, also in der Stunde um 2 p Gramm.

Die mittlere Stromstärke ist nun $\frac{2\,p}{1{,}18}$ Amp. gewesen, da 1 Amp. in 1 Stunde 1,18 g Kupfer ausscheidet und die Spannung zwischen a und b ist gewesen $= \frac{1 \cdot 2\,p}{1{,}18}$ V, weil

$$V = W \cdot J = 1 \cdot \frac{2\,p}{1{,}18}.$$

Ist d das Mittel der beobachteten Ablenkungen des Voltmeters VG, so kommen auf 1 V $\frac{1{,}18 \cdot d}{2\,p}$ Skalenteile.

c. Mit Hilfe eines geeichten Voltmeters (Fig. 106a). Den Strom einer Batterie B oder Dynamo schickt man durch einen veränderlichen Widerstand W und stellt das zu eichende Voltmeter Gv und das Normal-Voltmeter GN in Nebenschlüsse zwischen a und b. Indem man W ändert, kann man die Ablenkungen beider Instrumente vergleichen.

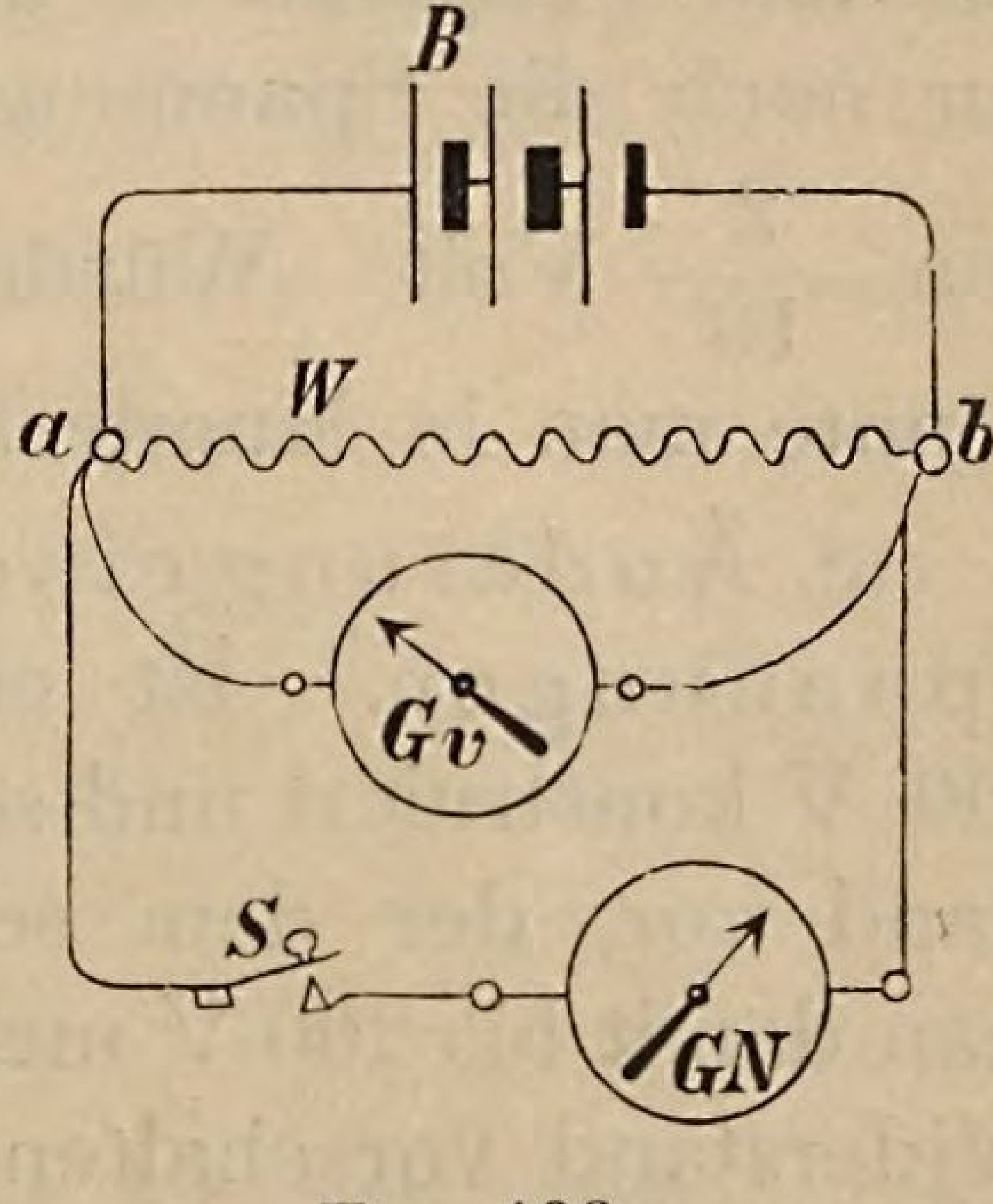


Fig. 106a.

d. Mittels eines Accumulators. Fig. 107. An die Enden eines Neusilberdrahtes von 1 bis 2 m Länge werden die Pole eines Accumulators angelegt, dessen Spannung zu 2 V. anzunehmen ist, wofern er schon einige Zeit im Gebrauch war. Die Strecke unter AB wird in 10 gleiche Teile geteilt. A wird mit dem zu eichenden Voltmeter V verbunden, dessen andere Polklemme mit einem Widerstand R von

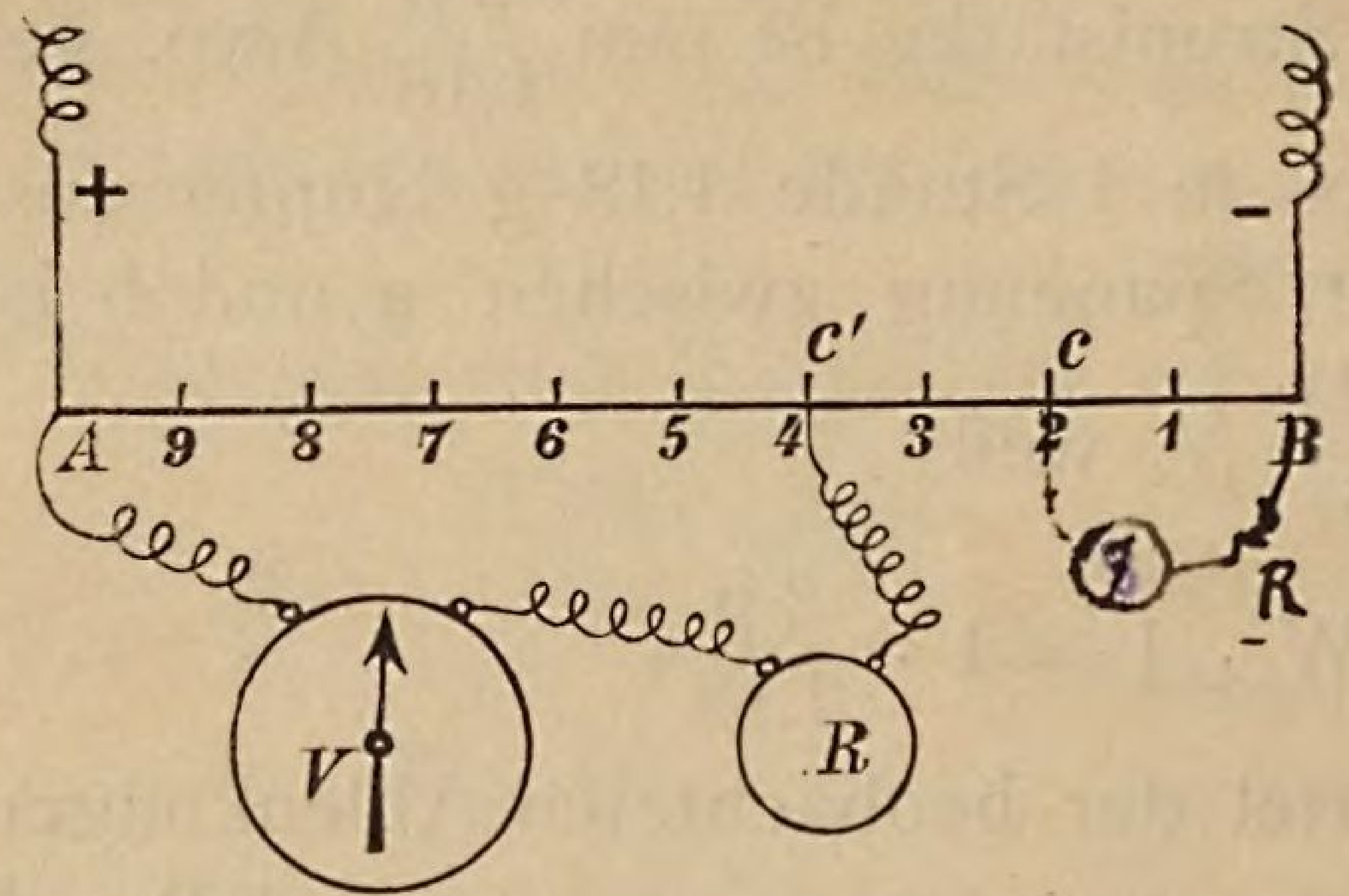


Fig. 107.

etwa 550 Ohm verbunden ist. Die Berührungsklemme C ist auf AB verschiebbar. Liegt C an B, so beträgt die Spannung im Stromkreis 2 V., wird C nach dem zweiten Teilpunkt c geschoben, so herrscht in V nur noch die Spannung von $\frac{2}{10}$ Volt. Würde AB in 100 Teile geteilt, so könnte man in Hundertsteln von 2 Volt ablesen.

e. Änderung eines Voltmeters für höhere Spannungen. Ist ein Instrument für höchstens 100 V konstruiert und schaltet man ihm einen Widerstand vor, der dem seinigen gleich ist, so könnte man damit bis 200 V messen; würde man den 9fachen Widerstand vorschalten, so wäre es bis 1000 V zu gebrauchen; jeder Skalenteil hat dann den 10fachen Wert. In demselben Verhältnis wird aber auch die Empfindlichkeit des Apparates vermindert.

f. Einfluss der Temperatur auf Voltmeter. Während der Einfluss der Temperatur auf Ampèremeter zu vernachlässigen ist, ist dies für genaue Messungen bei Voltmetern nicht der Fall. Die Kupferrolle habe bei 15° C. 400 Ω Widerstand; dann ist bei 25° C. $R_1 = 400\,(1 + 0{,}0038 \cdot 10) = 415\ \Omega$. Bestände die Rolle aus Neusilberdraht, so

wäre der Fehler 10 mal kleiner. Darum erhalten die Rollen einen Zusatzwiderstand aus Neusilberdraht.

Das Volt- und Ampèremeter von Schuckert-Hummel.

a. Das Prinzip. (Fig. 108.) Die Wirkungsweise dieses Volt- und Ampèremessers beruht darauf, dass jeder von einem elektrischen Strome durchflossene Leiter Eisen anzieht. L sei dieser Leiter und E ein sehr dünnes Eisenblech, das mit dem Zeiger Z um die Achse O drehbar ist; der Schwerpunkt von E und Z liege unterhalb der Achse, wenn der

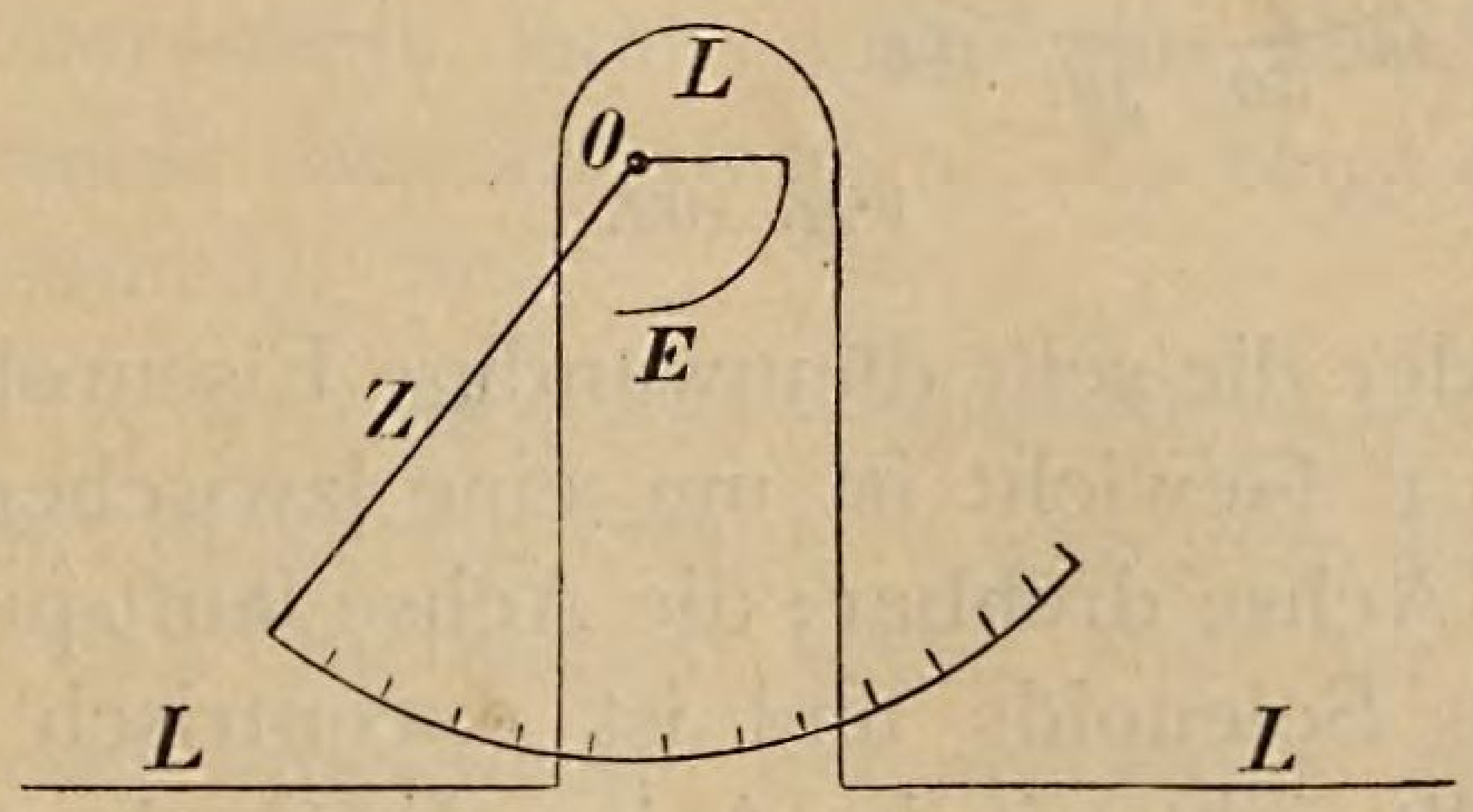


Fig. 108.

Zeiger auf Null steht; sobald nun ein Strom durch die Schleife L fliesst, wird E angezogen und Z um einen Winkel abgelenkt. Der Gleichgewichtszustand tritt ein, wenn das durch die elektrische Anziehung hervorgerufene Drehungsmoment gleich ist dem mechanischen Momente der Schwerkraft. Jeder Stromstärke in der Schleife entspricht somit eine bestimmte Stellung des Zeigers. Besteht die Schleife nur aus einer einzigen oder wenigen Windungen dicken Drahtes oder einem Bande, so ist das Instrument ein Stromstärke- oder Ampèremesser. Um einen

Spannungsmesser herzustellen, ist nur notwendig, ein Solenoid aus vielen Windungen Kupferdrahtes zu verwenden, hinter welchen ein bestimmter Widerstand aus Neusilberdraht geschaltet ist.

b. Das Instrument. (Fig. 109.) Das Eisen-

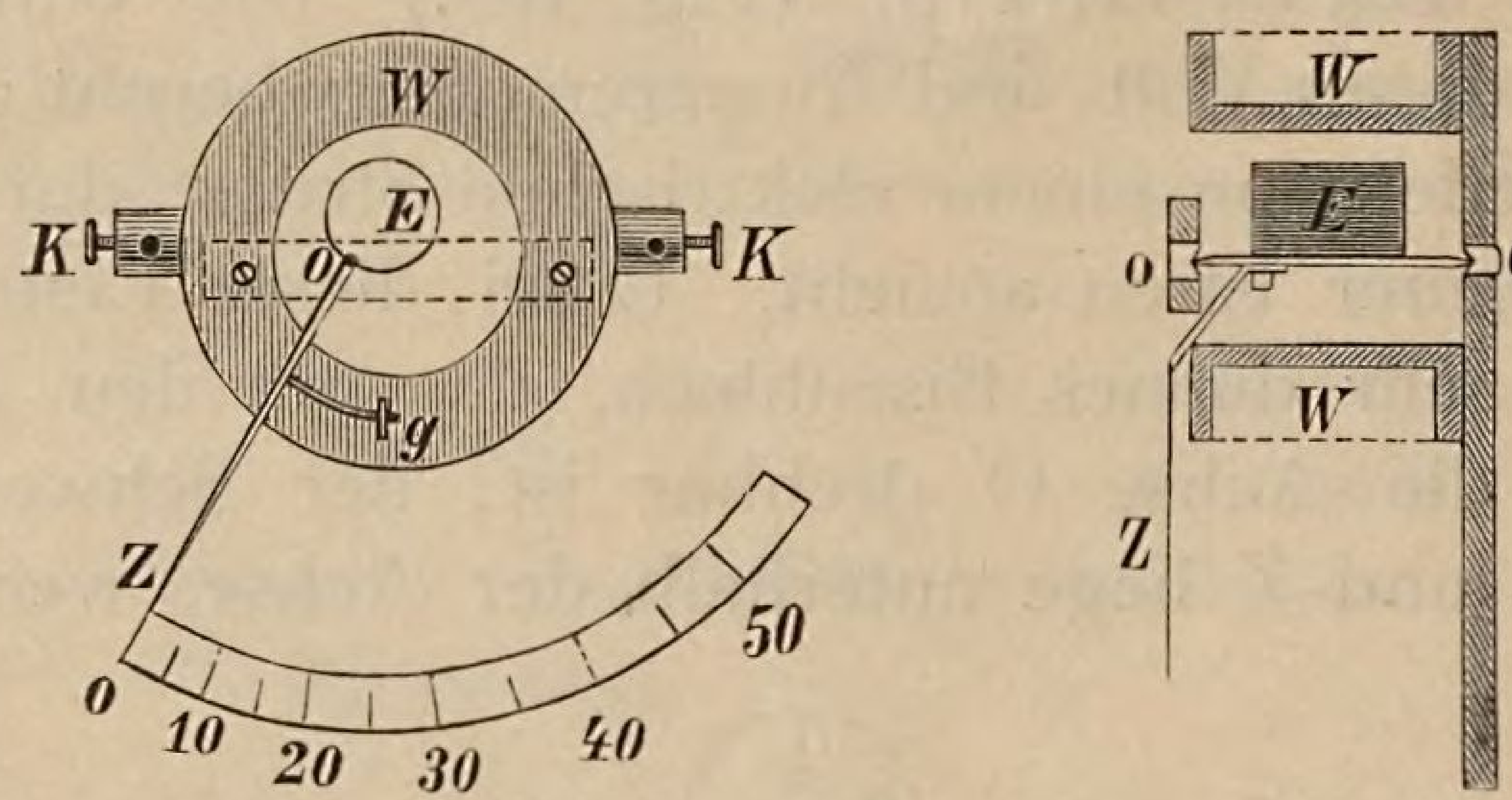


Fig. 109.

blech E oder die sehr dünnwandige Eisenröhre E von etwa 0,12 g Gewicht ist um eine zwischen Spitzen gelagerte Achse drehbar; die Achse läuft parallel der Achse des Solenoids und ist excentrisch gelagert, d. h. sie fällt nicht mit der Achse der Spule zusammen.

Der Zeiger trägt ein Übergewicht g, welches als Gegengewicht gegen die Stromwirkung und mittels Schraube zur Einstellung des Zeigers auf Null dient. Der Widerstand der Spule beträgt mindestens 400 Ω, wovon 1 Teil in Kupfer und 5 Teile in Neusilber bestehen. Wenn der Spannungsmesser für 100 Volt gebraucht wird, beträgt der Widerstand etwa 3000 Ω, wovon 500 in Kupfer und 2500 in Neusilber. Der Kupferdraht ist dann 0,18 mm dick, mit Seide isoliert und hat etwa 6000 Windungen. Der Neusilberdraht hat den Zweck, eine Änderung der Angaben des Instrumentes durch die Stromwärme im Kupferdraht

möglichst auszuschliessen (S. 172 f) und es ist deshalb zulässig, solche Spannungsmesser dauernd einzuschalten. Weil sich die kleine Eisenmasse in einem starken magnetischen Felde befindet, so wirken äussere magnetische Einflüsse nur wenig darauf ein. Da sich weder die Anziehung der Spule, noch die Gegenwirkung der Schwerkraft ändern, so bleiben die Angaben des Instrumentes unveränderlich.

Die Spulenhülse besteht aus Metall: Zink oder Messing, die Achsenträger sind dicke, mit eingekitteten Achathütchen versehene Messingstreifen, die auf die Spulenwand aufgeschraubt werden.

Das Instrument kann auch zur Messung von Wechselströmen benutzt werden. Es zeigt dabei die mittlere Spannung an.

c. Als Ampèremeter benutzt, wird das Instrument mit dickerem Draht in wenigen Windungen bewickelt; den Querschnitt wählt man der höchsten zu messenden Ampèrezahl entsprechend, wobei man auf 1 mm^2 Querschnitt 4 Ampère rechnet (Stromdichte). Aus Querschnitt und Widerstand folgen Drahtlänge und Windungszahl. Die Windungszahl ist ferner bestimmt durch die niedrigste Ampèrezahl, die man mit dem Instrument noch messen will. Die Eichung geschieht mit Hilfe der geeichten Tangentenbussole, indem man beide Instrumente und einen Rheostaten hintereinander in einen Stromkreis schaltet.

Beispiel 1. In einen Stromkreis von 50 Amp. und 65 V soll ein Ampèremeter eingeschaltet werden, das nur $\frac{1}{2}$ % Verlust verursachen soll; wie gross ist sein Widerstand?

Antwort. Spannungsverlust $= \frac{1}{2} \cdot \frac{65}{50} = 0{,}75$ V; Widerstand $= \frac{0{,}75}{50} = 0{,}015\ \Omega$.

Beispiel 2. Das zu demselben Stromkreis im Nebenschluss (Fig. 107) geschaltete Voltmeter soll gleichfalls $\frac{1}{2}$ % Verlust verursachen; wie gross ist sein Widerstand?

Antwort. Es darf ihm nur ein Strom von $\frac{1}{2} \cdot \frac{50}{100} = 0{,}25$ Amp. zufliessen; das setzt bei 65 V Spannung einen Widerstand $= \frac{65}{0{,}25} = 260\ \Omega$ voraus.

d. Ein Ampèremeter, das gestattet ein, zwei, drei Teile der Windungszahl in den Stromkreis einzuschalten, zeigt die einfachen, zweifachen, dreifachen Stromstärken an. Die Parallelschaltung sämtlicher Windungen wird für hohe Stromstärken angewendet.

Ein Spannungsmesser bis 100 V kostet 60 M; ebenso ein Strommesser bis 80 Ampère.

Das Volt- und Ampèremeter von Hartmann-Braun.

Beide Instrumente, Fig. 109a und b, für den Unterricht bestimmt, sind gleich gebaut und unterscheiden sich nur in der Bewickelung. Das Solenoid S hat beim Voltmeter seidenumsponnenen Draht von 0,2 mm Durchmesser, beim Ampèremeter von 1 mm und 8,1 Ω Widerstand; beide besitzen einen Nebenschluss N, der auf der Rückseite der senkrecht stehenden Holzplatte, und zwar beim Voltmeter auf einer bifilargewundenen Spule, beim Ampèremeter auf einem viereckigen Rahmen angebracht ist.

Letzterer Nebenschluss hat 0,9 Ω Widerstand. Beim Einschalten der Nebenschlüsse in den Stromkreis werden die Messbereiche auf das 10fache vergrössert;

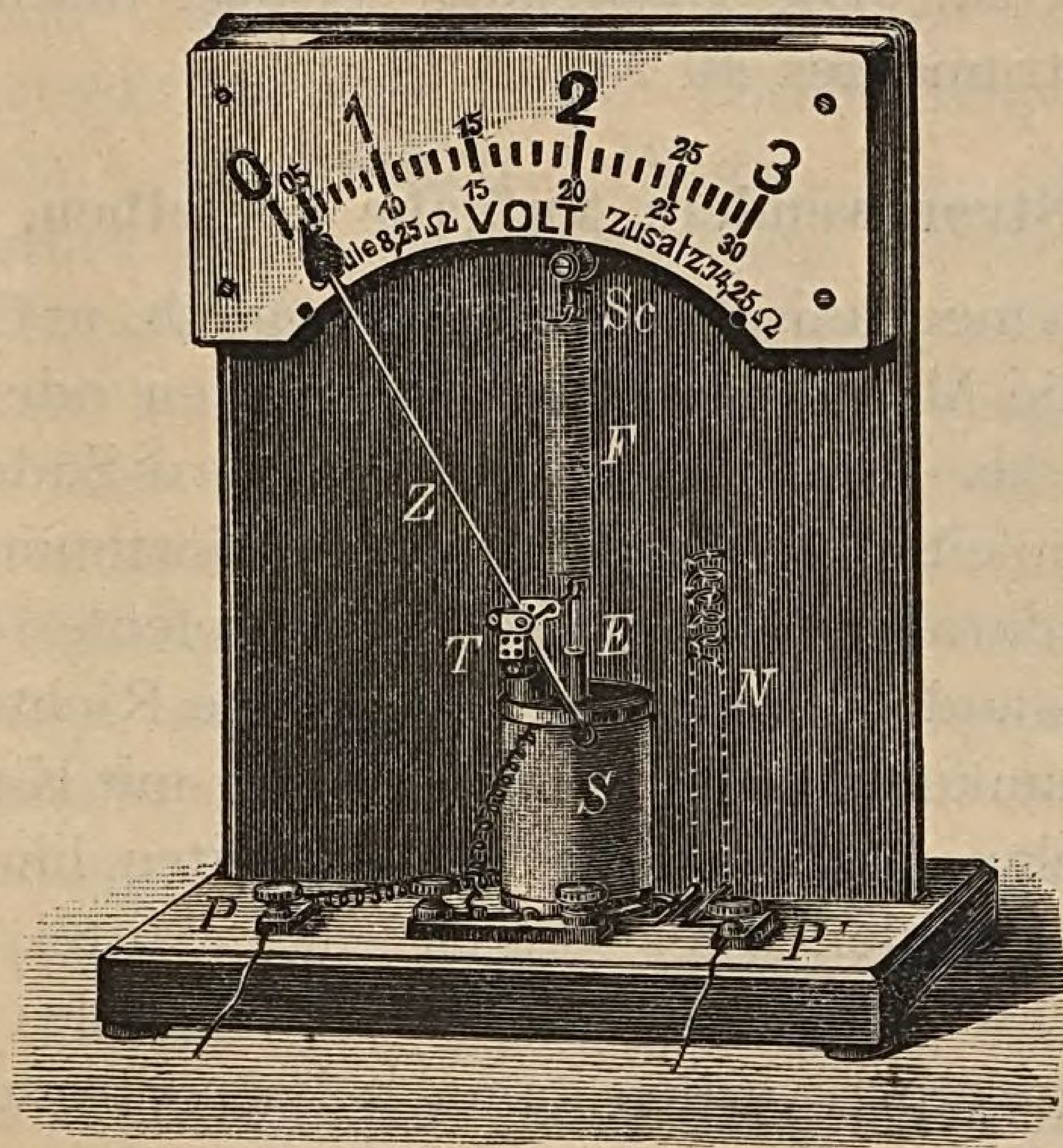


Fig. 109 a.

denn 8,25 ist der zehnte Teil vom Gesamtwiderstand (8,25 + 74,25).

Das Solenoid zieht bei Stromschluss den Eisenkern E an, der am Hebelarm a (Fig. 109b) der sehr leicht drehbaren

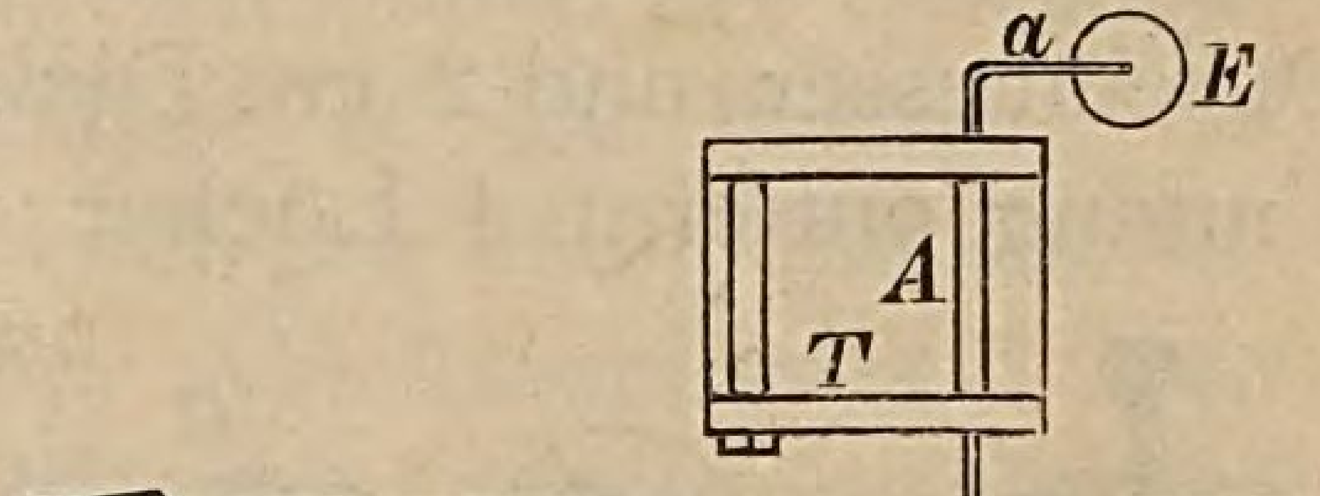


Fig. 109 b.

Achse A an einer Spiralfeder F aus feinem Stahldraht hängt. Diese Spirale ist an einem Messingstift aufgehängt, der in der Schraube Sc gehoben und gesenkt werden kann. Der Zeiger Z ist ausser-

halb des Achsenträgers T auf der Achse befestigt; seine Spitze ist schwarz gefärbt, so dass seine Stellung auf der weissen Skalafläche von ferne leicht abzulesen ist. Die Einstellung erfolgt rasch. Preis jedes Instrumentes 40 M.

Stromwender; Aufgabe derselben.

Es ist mechanisch beinahe unmöglich, in Galvanometern die Magnetnadel so aufzustellen oder aufzuhängen, dass ihre Lage mit der Nord-Südrichtung der Stromleitung vollkommen übereinstimmt. Man kann die daraus entspringenden Ablesefehler dadurch auffinden und umgehen, dass man die Richtung des Stromes umkehrt (siehe Galvanometer mit Kompass), die Nadelausschläge nach beiden Seiten hin abliest und aus beiden Ablesungen das Mittel nimmt. Apparate, durch welche die Richtung des Stroms rasch umgekehrt werden kann, heissen Stromwender, Kommutatoren, Gyrotrope, Invertoren.

a. Stromwender mit Quecksilber (Fig. 110 und 111). In eine Holzscheibe von 8 bis 10 cm Durchmesser und 2 cm Dicke bohrt man 1 cm vom Umfang entfernt 4 Löcher von 5 bis 10 mm Weite und 1,5 cm Tiefe, so dass sie die Ecken eines Quadrates bilden; sie werden halb mit Quecksilber gefüllt. In den Mittelpunkt dieser Holzscheibe leimt man einen Holzstift von der



Fig. 110.

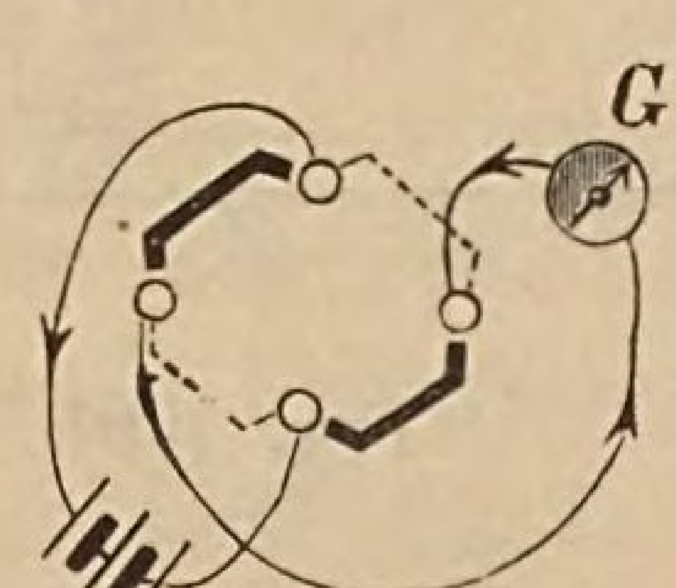


Fig. 111.

Dicke eines Federhalters und 6 cm Länge; er dient zur Führung für eine gleich grosse Holzscheibe von

1 cm Dicke. In diese werden ebenfalls 4 Löcher gebohrt, so dass sie der Lage nach genau den 4 ersten entsprechen, aber nur so weit sind, dass ein Kupferdraht von 2 bis 3 mm Dicke eben noch hindurch gesteckt werden kann. Dieser Kupferdraht ist zweimal rechtwinklig gebogen, so dass das Zwischenstück gleich der Entfernung zweier Löcher ist und die unter der Scheibe hervorragenden Stifte noch 3 cm lang sind. Durch Verstellung dieser Haken in den Quecksilbernäpfen wird der Strom sicher und ohne erhebliche Widerstands-Vermehrung, aber mit Unterbrechung umgekehrt. Die Poldrähte der Batterie werden in zwei nicht benachbarte Näpfe getaucht (Fig. 111) oder in zwei mit denselben in Verbindung stehenden Polklemmen geschraubt.

b. Stromwender mit Quecksilber und Korken. Kitte zwei Flaschenkorke mit Siegellack neben einander auf einen Glasstreifen, höhle sie etwa bis zur Mitte aus, indem eine zugeschärfte Metallröhre bohrend eingetrieben wird, giesse Quecksilber ein und stecke die zugeschärften Enden der Leitungsdrähte durch das Quecksilber in die Korke, von denen man den einen rot anfärben kann und ebenso einen Zuleitungs- und einen Ableitungsdraht. Man hat dann nur die zugespitzten Ableitungsdrähte umzustecken.

c. Stromwender mit Walze. (Fig. 112.) An die Holzwalze von 6 bis 10 cm Länge und 4 cm Dicke sind Ringe von Kupfer- oder Messingblech von 1,5 cm Breite aufgesteckt, an welche an zwei entgegengesetzten Durchmessern die nach dem Walzenmantel gebogenen Streifen f und k gelötet sind.

In der gezeichneten Stellung fliesst der positive Strom von a durch die starke Feder nach i, k, zur Klemme m und nach n. Dreht man die Kurbel um 180°, so fliesst der positive Strom von a nach k, n und m. Alle Schrauben und Klemmen werden aus Messing gefertigt, da Eisen die Magnetnadel des Galvanometers beeinflussen würde.

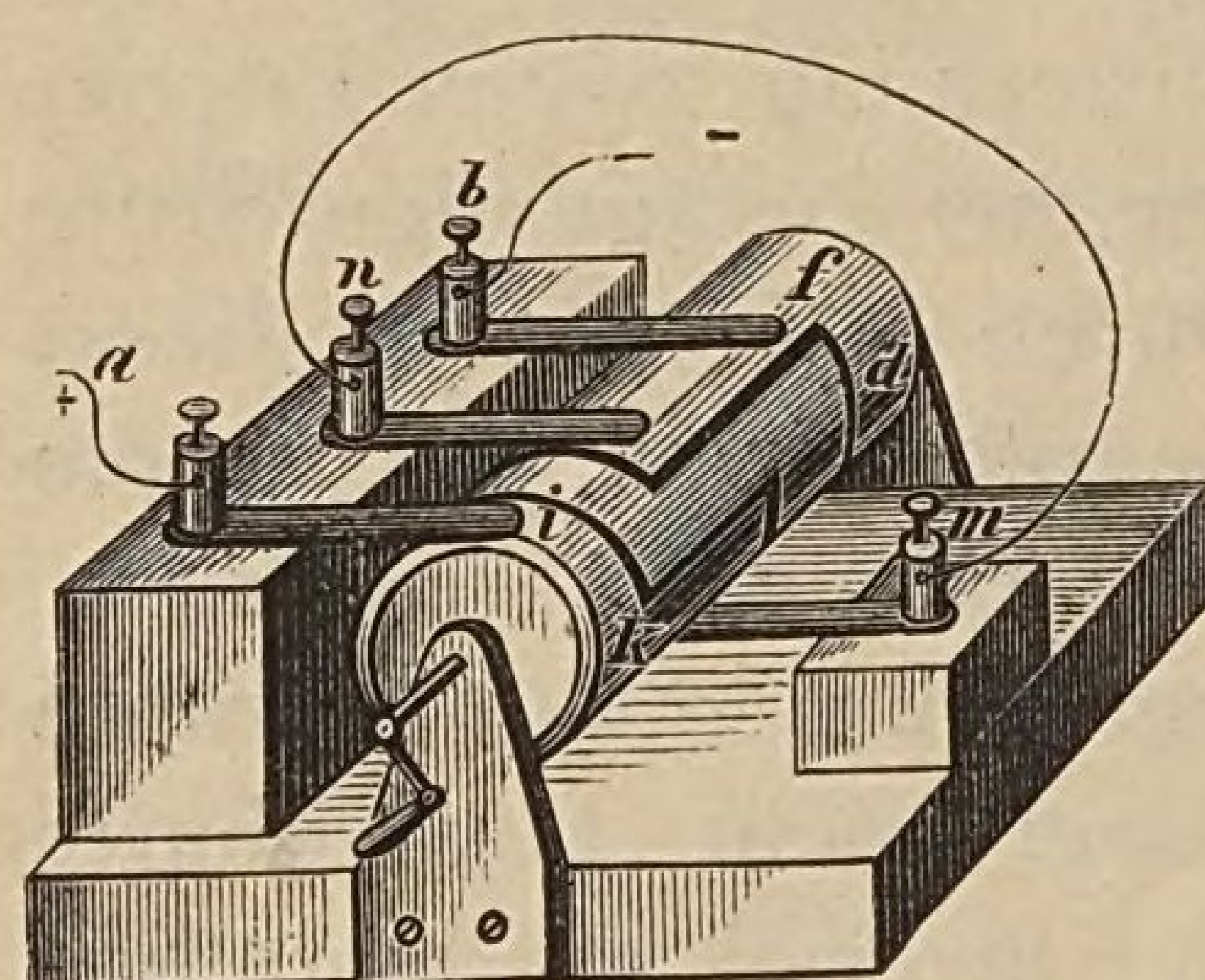


Fig. 112.

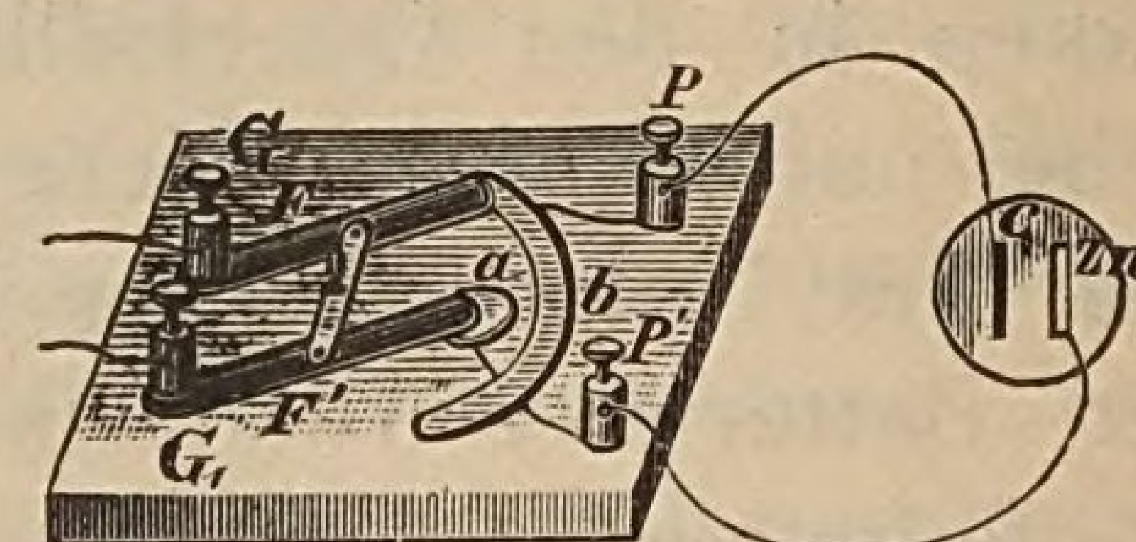


Fig. 113.

d. Stromwender von Dujardin. 1844. (Fig. 113.) Auf einem Brett ist eine kleine Kreisscheibe a und ein halbkreisförmiger Streifen b, beide aus Messing oder Kupfer, befestigt und mit den Polklemmen P und P' verbunden: der Verbindungsdraht a P' darf b nicht berühren. An einem Griffe aus Holz, der auf einen die Federn F und F' verbindenden Elfenbeinstreifen oder eine Holzleiste geschraubt ist, werden die Federn F und F' auf a und b verschoben. Die Klemmen G und G' stehen mit dem Galvanometer in Verbindung.

e. Stromwender nebst Nachweis des Polarisationsstromes. 1864. In der Mitte eines Brettes ist eine Holzscheibe von 1½ cm Dicke und 3 bis 5 cm Durchmesser um einen Messingstift drehbar; am Rande der Scheibe sind zwei von einander

isolierte Kupfer- oder Messingstreifen aufgeschraubt. An den Polklemmen sind starke Metallfedern angebracht, die auf den Kupferstreifen schleifen.

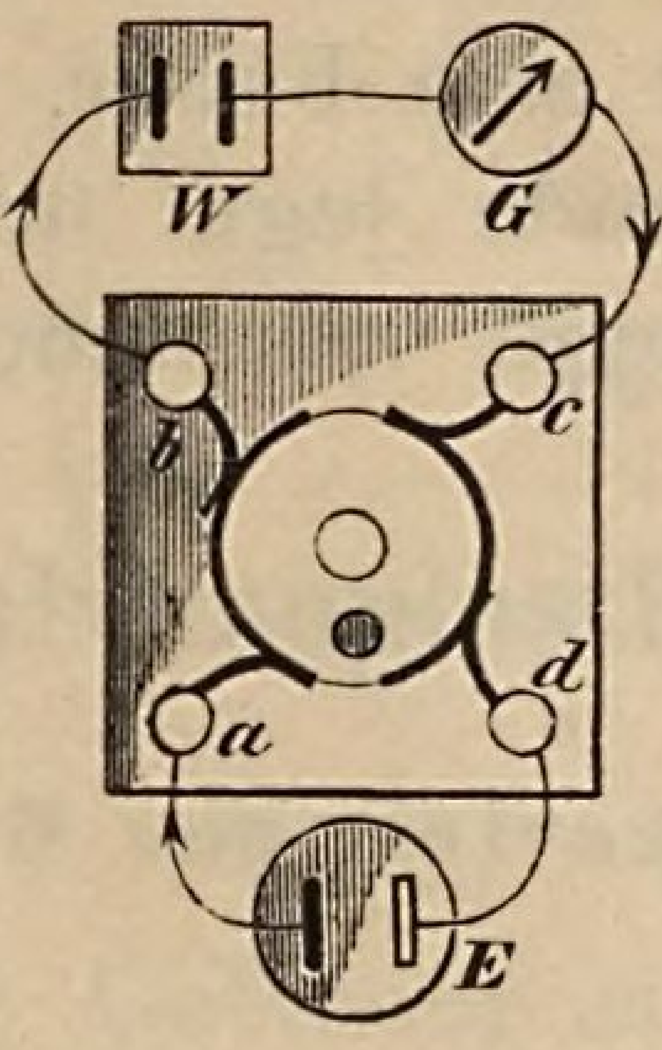


Fig. 114.

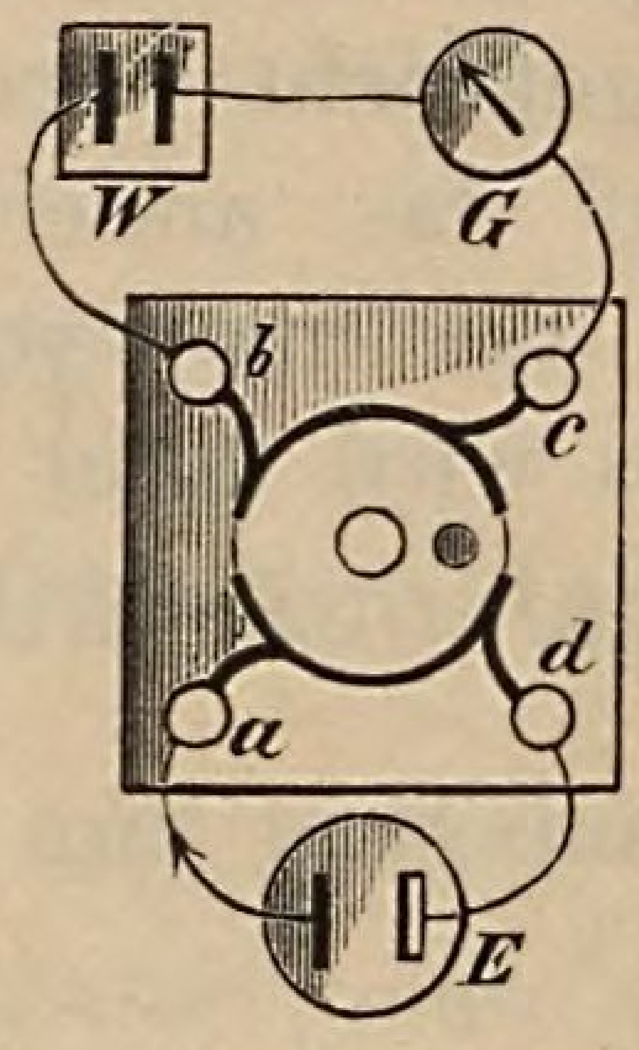
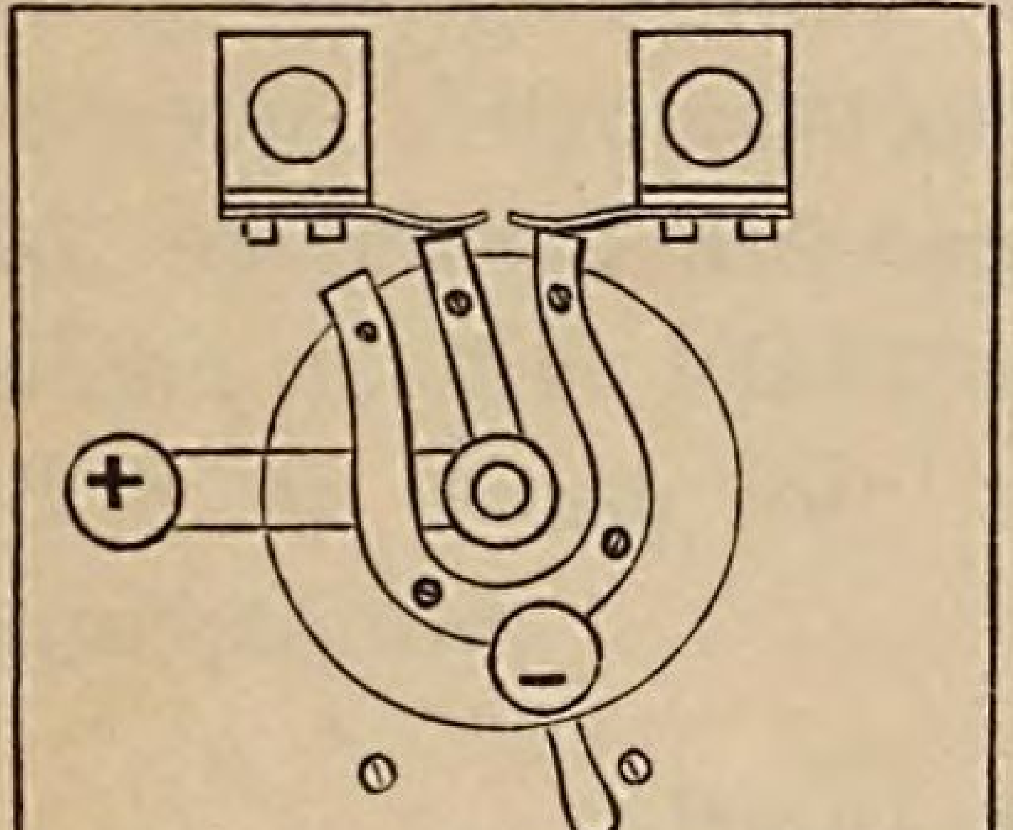


Fig. 115.

In Fig. 114 geht der Strom des Elementes E über a und b zur Wasserzersetzungszelle W, durch das Galvanometer G nach c und d zurück zum Zink. In Fig. 115 ist die Scheibe um 90^0 gedreht und der Strom des Elementes fliesst über a und d zum Zink, während der Polarisationsstrom von W über b, c, das Galvanometer zur Zelle zurückkehrt und die Nadel nach der entgegengesetzten Seite ablenkt.


Fig. 115a.

Statt eines Stromwenders lässt sich auch der Morsetaster verwenden.

f. Der Stromwender von Bertin 1865 ist eine Abänderung desjenigen von Dujardin. Durch Drehung der Holz- oder Hartgummischeibe wird der innere Blechstreifen je an die beiden Federn gelegt.

Die Stromschlüssel

dienen zum raschen Unterbrechen und Schliessen eines Stromes; der einfachste Schlüssel ist ein Quecksilbernapf in Kork, in den die Enden der Leitungsdrähte getaucht werden, oder eine Feder, die sich hart auf das andere Drahtende legt, oder zwei Federn, die man vorübergehend zusammendrückt. Weiteres wird unter V folgen.

Kapitel IV.

Galvanoplastik und Galvanostegie.

Begriff von Galvanoplastik und Galvanostegie.

Mit Galvanoplastik bezeichnet man die Herstellung kupferner, plastischer Abbilder; mit Galvanostegie die Herstellung metallischer Überzüge auf metallischen Gegenständen. Beide beruhen auf den chemischen Wirkungen des galvanischen Stromes und der Umkehrbarkeit des Daniell-Elementes. Jakobi 1837 in Petersburg; Spencer in Liverpool; Jordan in London.

Die Bestandteile einer galvanoplastischen und galvanostegischen Einrichtung

sind a) eine geeignete Elektricitätsquelle: galvanische Elemente, Accumulatoren, Dynamomaschinen; b) ein Bad, bestehend aus einem Gefäss, das enthält 1. eine lösliche positive Elektrode; 2. eine metallische Lösung und 3. in dieser die mit Metall zu überziehenden Gegenstände.

Wahl der Elemente.

Die angewendeten Elemente müssen so konstant als möglich sein und eine EMK von einigen V be-

sitzen. Die Zahl der Amp. soll im Verhältnis zur Oberfläche der mit Metall zu bedeckenden Gegenstände stehen. Hierüber giebt die folgende Tabelle einige Auskunft.

g niedergeschlagen in 1 Stunde auf 1 dm^2	Stromstärke in Ampère auf 1 dm^2	Art des Niederschlags (Kupfer).
0,1	0,085	ausgezeichnet
0,4	0,342	gut
3	2,6	sehr gut
12	10,2	sehr gut
50	42,7	schlecht
124	106	sehr schlecht

Man bekommt demnach gute Kupferniederschläge mit Stromdichten von 0,1 bis 4 Ampère auf das dm^2, und man hält sich gewöhnlich in diesen Grenzen. Für Cliché's empfiehlt man eine Stärke von 0,6 bis 1,5 Ampère. Für andere Metalle als Kupfer hat die Erfahrung folgende Ziffern ergeben:

	Amp. auf 1 dm^2
Zinn	0,4 bis 0,5
Zink	0,3 „ 0,5
Silber	0,15 „ 0,5
Gold	0,07 „ 0,15
Messing	0,4 „ 0,5
Eisen	0,15 „ 0,45
Nickel erst. Niederschl.	1,5
dann geschwächt auf .	0,15 „ 0,3

Diese Zahlen gelten für das dm^2 Oberfläche der Kathode; hätte diese 6 dm^2, so müsste man auch die Stromstärke versechsfachen; jedoch steht diese

Grösse der Kathodenoberfläche in keinem Verhältnis zu der Anzahl der nötigen Volt; diese ist von der Natur der Lösung abhängig. In der Praxis verwendet man

für Kupferniederschlag in saurem Bad	0,5	bis	1,50 V
in Cyanbad	3	„	6 „
für Silberniederschlag	0,5	„	1 „
„ Gold „ „	0,4	„	4 „
„ Messing „ „	3	„	4 „
„ Eisen „ „	1	„	1,3 „
„ Nickel auf Eisen, Stahl, Kupfer mit Nickelanode			
anfangs	5		
nach erstem Überzug	1,5	bis	2 V
„ „ „ Eisen, Stahl Kupfer			
mit Kohlenanode	2	„	4 „
auf Zink	5	„	6 „
„ Platin	5	„	6 „

3 Bunsenelemente, hinter einander verbunden, reichen für eine Warenfläche bis zu 13 dm^2; für eine Warenfläche bis zu 26 dm^2 sind 3 weitere auf Spannung verbundene Elemente dazu zu schalten. Für kleine, seltener gebrauchte Bäder sind Meidinger-Elemente zu empfehlen.

Bei Kupferniederschlägen kann man in Daniell-Elementen das Zink durch Schmiedeisenelektroden ersetzen (0,475 V).

Leitungsdrähte; Dauer eines Prozesses.

Bei Leitungen bis zu 25 m Länge genügt ein Querschnitt von je 1 mm^2 für 3 Amp.; sind die Leitungen länger, so hat man je 1,5 bis 2 Amp. auf 1 mm^2 zu berechnen. Die Dauer eines elek-

trolytischen Prozesses lässt sich aus folgender Tabelle entnehmen:

Metall	Gewicht des Niederschlags für 1 Stunden-Ampère in g	c Specifisches Gewicht.
Aluminium	0,51	2,603
Silber	4,025	10,53
Kupfer	1,19	8,88
Eisen	1,05	7,88
Nickel	1,11	8,9
Gold	3,69	19,32
Zink	1,23	7,29

Erklärung. 2,603 ist das spec. Gew. von Aluminium heisst: 1 cm^3 Alum. ist 2,603 mal so schwer als 1 cm^3 Wasser. 1 cm^3 Wasser wiegt 1 g, also wiegt 1 cm^3 Aluminium 2,603 g.

Galvanoplastik.

Einfacher Apparat. (Fig. 116.) Die älteste Einrichtung ist derart, dass die Zersetzungsquelle selbst als Element benutzt wird. Eine Thonzelle enthält angesäuertes Wasser (1 T. Schwefelsäure und 30 T. Wasser) und eine amalgamierte oder in Quecksilber stehende Zinkplatte oder einen Zinkcylinder und steht selbst in einem Glasgefäss, umgeben von einer Lösung von reinem Kupfersulfat. Der Kupfergehalt wird durch eingehängte Säckchen mit Kupfervitriol konstant erhalten. Säureüberschuss, mit blauem Lackmuspapier untersucht, wird von Zeit zu Zeit durch Zusatz von Schlemmkreide beseitigt.

Die Grösse der Zinkelektrode soll der Oberfläche der Gegenstände ungefähr gleich sein. Rings um die Thonzelle werden die Gegenstände an Leitungsdrähten aufgehängt.

Gedächtnisregeln: Ware-Zink, die letzten Buchstaben im Alphabet, gehören zusammen, d. h. die Ware ist mit dem Zinkpol zu verbinden, oder auch: Das Metall geht mit dem Strom.

In einem zusammengesetzten Apparat (Fig. 117) wird den Zersetzungszellen der Strom besonders zugeführt. Die Zelle ist ein Glas-, Porzellan-, Steingut-, Guttapercha-, gefirnisstes Holzgefäss.

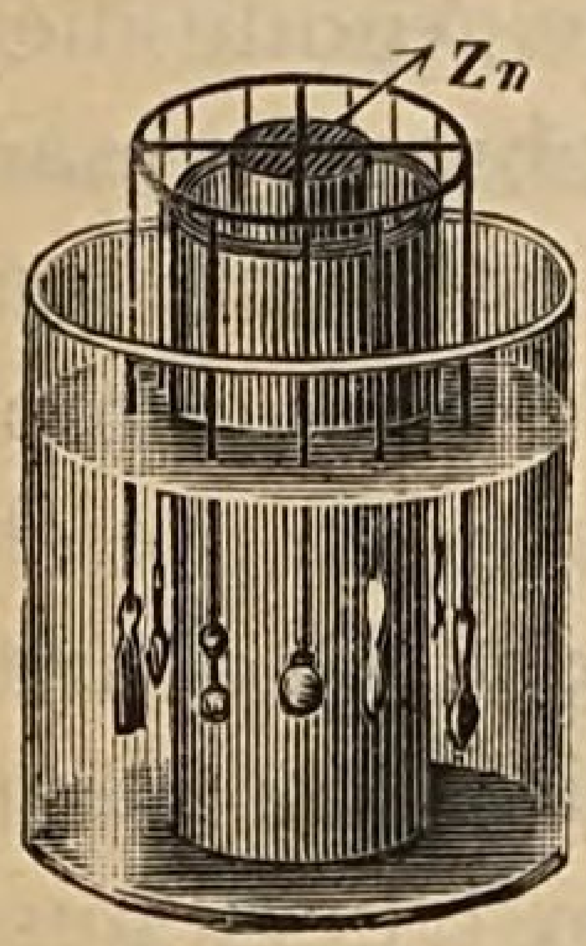


Fig. 116.

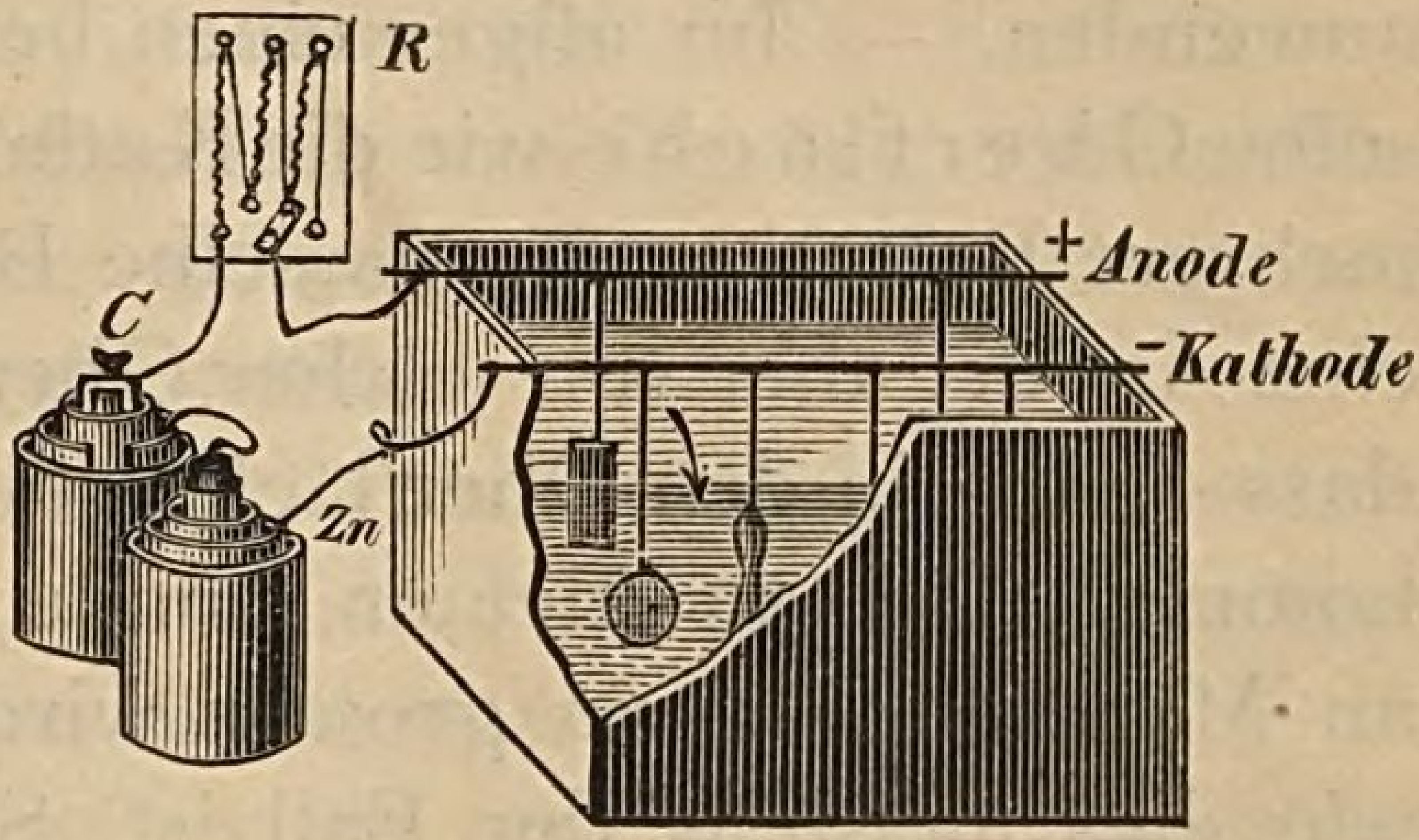


Fig. 117.

Galvanoplastik. Das Bad.

Die Zusammensetzung des Bades ist ein wichtiger Faktor in elektrolytischen Vorgängen. Eine an Metallen zu schwache Lösung liefert einen porösen, zerbröckelnden Niederschlag; ist sie zu konzentriert, wird er kristallinisch. Während der Zersetzung bewege man das Bad, damit es gleichmässig dicht bleibt, sowie die Elektrolyten, weil sie unter sich eine Cirkulation, einen Strom bilden, der Striemen erzeugt. Der Galvanoplastiker soll nie an

seinem Bad vorbeigehen, ohne es zu bewegen, die Ware oder die Anode und Kathode zu heben und zu senken. Diese Striemen kann man in einem gefärbten Bade sehen; sie stellen sich nur dann häufig ein, wenn die Elektrolyten einander zu nahe sind. In grossen Bädern, in denen die Waren weit auseinander hängen, wird der Niederschlag regelmässiger, besonders wenn die eingehängten Gegenstände klein sind.

Freilich geht der Niederschlag um so langsamer vor sich, je grösser die Entfernung der Waren von der Anode ist; man muss also eine stärkere Batterie anwenden. — Im allgemeinen besitzt die Anode dieselbe Oberfläche wie die Kathode. Gebraucht man mehrere Batterien für dasselbe Bad, so ist doch nur eine Anode, aber von solcher Oberfläche einzuhängen, dass sie hierin den Oberflächen aller Kathoden gleich komme. Bei zu kleiner Anode wird das Bad arm an Metallen; bei zu grosser wird es reicher, sofern, wie dies meistens der Fall ist, Säure im Überschuss vorhanden ist.

Die Temperatur des Bades ist auf 15 bis 16° C. zu halten.

Stromdichte. Auf das dm^2 sind 0,085 bis 2,6 Amp. zu wählen; das Gewicht des niedergeschlagenen Kupfers beträgt dann für die Stunde und das dm^2 0,1 bis 3 g; die Anfangsspannung reguliere man auf 1 bis 2 Volt und hernach auf 0,5 Volt.

Nach dem Abnehmen der Platten von den Formen (Matrizen) und Ausschmelzen derselben wird das Kupfer auf der Rückseite verzinnt (während

das Cliché mit der Zeichnung nach unten auf einer Eisenplatte liegt) mit einer Legierung aus 91 T. Blei, 5 T. Antimon und 4 T. Zinn; dann die Ränder entfernt, die Kanten abgestossen und endlich das Cliché auf einer Holzplatte befestigt.

Galvanoplastik. Die Matrizen oder Formen.

a. Leitende Formen aus leicht schmelzbaren Metallen: Mischung von Darcet, schmelzbar bei 94° C: Blei 5 T., Zinn 3 T., Wismut 8 T. Mischung von Wood, schmelzbar zwischen 66° und 71°: Blei 2 T., Zinn 4 T., Wismut 7 bis 8 T., Kadmium 1 bis 2 T. Andere Mischung von Darcet, schmelzbar bei 55° C: 9 T. der obigen Darcet-Mischung mit Zusatz von 1 T. Quecksilber.

b. Nichtleitende Formen aus Gips, Schwefel, Wachs, Siegellack, Stearin, Paraffin, Guttapercha, Marineleim, Gelatine-Bichromat.

Alabastergips wird mit Wasser angerührt und über den eingefetteten Gegenstand gegossen, z. B. ein Metallstück wird mit wenig Öl eingerieben, mit einem Rand von Karton umgeben und diese Form 1 bis 2 cm hoch aufgefüllt. Da man auf diese Weise im Abguss viele Poren erhält, so trägt man die erste Lage mit einem weichen Pinsel auf. Damit die Form im Bade haltbar bleibt, legt man sie in geschmolzenes Paraffin oder Stearin, das Bild nach oben; sobald dieses Fettglanz zeigt, nimmt man die Form heraus und lässt abkühlen, immer das Bild nach oben gekehrt. Rührt man den Gips mit Alaunlösung an, so erhält man eine Matrize in Stuck

der undurchdringlicher und widerstandsfähiger ist als Gips.

Der Schwefel liefert zwar einen ziemlich feinen Abdruck, ist aber zerbrechlich und splittert gern ab.

Guttapercha giebt harte, sehr feine und dauerhafte Abdrücke; ihre Behandlung kostet indes ziemlich viele Übung; sie wird in warmem Seifenwasser bildsam gemacht und über den eingefetteten, von einem Rahmen umgebenen Gegenstand gepresst.

Das gewöhnliche Wachs ist weich und nur in kalten Bädern verwendbar, auch erlaubt es keine tiefen, scharfen Abgüsse.

Zu empfehlen ist folgende Mischung:

Wachs	9	kg
Venetianisches Terpentin .	1,35	„
Feines Graphitpulver	0,225	„

Ähnlich wie Wachs verhalten sich Stearin und Paraffin.

Marineleim: 1 T. Kautschuk in 20 T. Benzin aufgelöst, dazu 20 T. zerstossenen Schellack; mit grosser Vorsicht erwärmt; er steht für diesen Zweck der Guttapercha nicht nach.

Galvanoplastik. Metallisation der Matrizen.

a. Auf trockenem Wege. Geschlemmter Graphit wird auf die Formen gesiebt, mit einer feinen, nicht zu weichen Bürste aufs sorgfältigste — denn davon hängt meistens das Gelingen der ganzen Arbeit ab — eingerieben, bis gleichmässiger Glanz auftritt; bei sehr weichen Formen ist auch eine sehr weiche Bürste (Pinsel) zu verwenden. Eine Glasform

muss vor der Metallisation einen Überzug von Wachs, in Terpentinöl aufgelöst, erhalten.

Gestossener Graphit, zermahlene Kreide u. s. w. werden geschlemmt, indem man sie in ein Glas voll Wasser giesst, die grösseren Teile schlagen sich rasch nieder; dann wird abgegossen; aus dem Abguss setzen sich allmählich die feineren Teile ab.

Einen vergoldeten Graphit stellt man auf folgende Art her. Löse 10 g Goldchlorür in 1 l Äther auf und verteile in der Mischung 500 bis 600 g Graphitpulver, rühre das Gemenge mit einem Glasstab in der Sonne bis zur Verdunstung des Äthers um und trockne endlich über gelindem Feuer.

Über kleine, wenig erhabene oder vertiefte Gegenstände kann man ein dünnes Staniolblatt walzen und dieses mit Wachs oder Gips (auf der Zinnseite) bedecken.

b. Auf feuchtem Wege. Überziehe die Form mit einer Auflösung von Höllenstein in reinem Wasser und setze diesen Überzug dem Dampf einer konzentrierten Lösung von Phosphor in Schwefelkohlenstoff aus. Dieser Dampf ist im höchsten Grade brennbar; man halte sich somit fern von jedem Feuer und operiere im Freien. Die Phosphorlösung bewahrt man in einem langhalsigen Ballon auf, taucht diesen beim Gebrauch in warmes Wasser und richtet den Dampfstrahl gegen die Matrize.

Galvanostegie.

Wollaston bemerkte 1801, dass ein Silberstück, mit einem positiveren Metall verbunden, in einer Kupferlösung überzogen wird. Brugnatelli vergoldete

1805 zwei Silberstücke. Elkington führte um 1840 den Vorgang in die Industrie ein.

Die Vorbereitung der Gegenstände hat zum Zwecke, eine vollkommen reine, matte oder glänzende Oberfläche herzustellen. Man beginnt mit dem Entfetten der Gegenstände, erhitzt sie bis dunkelrot über einem Holzfeuer oder in einem Ofen; erlaubt dies der Gegenstand nicht, so reinigt man ihn in einer siedenden Lösung von Ätzkali in Wasser (1 Gewichtsteil Ätzkali, 10 G. T. Wasser) oder in siedender Ätzkalklösung und schwenkt ihn in viel Wasser ab. Zinn und seine Legierungen kommen darauf in angesäuertes Wasser (1 T. Schwefelsäure und 10 T. Wasser); Kupfer und seine Legierungen taucht man ebenfalls in angesäuertes Wasser (1 T. Schwefelsäure und 5 T. Wasser); sie überziehen sich darin mit einer sehr feinen Oxydschichte. Eisen, Guss, Stahl würden diese Lösungen zersetzen und Silber davon nicht angegriffen werden.

Um Kupfer, Bronze und Neusilber von Oxyden zu reinigen, taucht man sie kurze Zeit in eine Mischung von Salpetersäure und Wasser (1 T. Salpetersäure und 10 T. Wasser) und wäscht sie sogleich in sehr viel Wasser ab.

Rohe, rauhe, stark oxydierteGegenstände kommen in eine Mischung von 1 T. Salpetersäure, 2 T. Wasser und 1 T. Schwefelsäure; Gegenstände von Zink, so wie polierte Gegenstände von Eisen, Guss und Stahl werden in einer Mischung von 1 T. Schwefelsäure und 100 T. Wasser gebeizt. Eisen und seine Arten reibt man alsdann mit feinem Sand oder Bimssteinpulver so lange ab, bis sie gleichmässig grau sind.

Galvanostegie. Kupferbad.

Nach Pfanhausser.

1 l Wasser,	
80 g Cyankupferkalium 2 „ Cyankalium, rein 2 „ Salmiak, kristall. 10 „ Ammoniaksoda	lauwarm zu lösen, so lange umrühren, bis alle Salze gelöst sind.

Temperatur des Bades: 20 bis 25° Celsius.
Stromspannung: 3 Volt.
Stromdichte: 0,5 Ampère.

Nach Roseleur.

Für alle Metalle:

Essigsaures Kupfer	1	Gew. T.
Soda	1	„ „
Doppelt schwefelsaures Natron	1	„ „
Cyankalium (95 bis 100%) . . .	1	„ „
Wasser	50	„ „

Das essigsaure Kupfer wird zuerst gelöst und dann die Soda zugesetzt; nach Zufügung der übrigen Substanzen wird filtriert.

Stromdichte: 0,4 Amp. für 1 dm^2.
Spannung: 3 bis 4 Volt.
Elektrodenabstand: 15 cm.

Als Anoden werden ausgeglühte Kupferbleche benutzt, deren Oberfläche gleich der doppelten Oberfläche der einzuhängenden Gegenstände gewählt wird. Von Zeit zu Zeit sind die Anoden herauszunehmen und durch eine Brenne blank zu machen.

Durch Verwendung von Kupfernitrat an Stelle von Kupfersulfat ist es Swan gelungen, auch bei sehr bedeutenden Stromdichten gute Kupfernieder-

schläge zu erhalten. Er fügt der salpetersauren Kupferlösung etwas Salmiak hinzu und erhält aus dem so beschaffenen Bade gute Niederschläge selbst bei 10,8 Amp. auf das dm^2. Mit Kupfersulfat verwendet man höchstens 2,6 Amp. auf das dm^2.

Vernickelung.

Das Bad besteht für Eisen, Stahl, Messing, Kupfer aus 1 l Wasser und 70 g schwefelsaurem Nickeloxydul-Ammoniak; es ist stets gesättigt und mit Ammoniak-Wasser neutral zu halten. Man rechnet auf das dm^2 0,3 bis 0,6 Amp. und 2,5 bis 3,5 V. Neutral ist das Bad, wenn eingetauchtes Lackmuspapier seine Farbe nicht ändert.

Auch folgende Formeln geben gute Vernickelungs-Lösungen:

1 T. salpetersaures oder schwefelsaures oder Chlor-Nickel; 1 T. doppelt schwefligsaures Natron; 20 T. Wasser; oder:

1 T. salpetersaures oder schwefelsaures oder Chlor-Nickel; 1 T. reiner kristallisierter Salmiak; 20 T. Wasser.

Ein alkalisches Bad wird mit etwas Säure (Schwefelsäure, Salzsäure, Citronensäure) vorsichtig neutral gemacht.

Das Salz muss rein sein und wird in warmem Regenwasser aufgelöst. — Die Gegenstände kommen poliert ins Bad und werden nach der Vernickelung in viel Wasser gewaschen und in Sägespänen abgetrocknet. Die Anode ist eine Nickelplatte.

Die Gesamtfläche der Gegenstände, welche jeweilig im Bade hängen, soll annähernd gleich sein mit der Fläche der Zinke der verwendeten galvani-

schen Elemente, sowie auch mit der Fläche der im Bade hängenden Anode.

Die Anoden seien etwa 10 cm von den Waren entfernt. Die Anoden dürfen nur mittels Platindrähten ganz in das Bad eingetaucht werden.

Will man den Glanz erhöhen, so reibt man den Nickelüberzug mit einem Tuch, das in gekochtes Öl und Polierpulver getaucht ist, und reibt zum Schluss mit trockenem Tripel. Tripel ein leicht verreibliches Mineral, bestehend aus Kieselpanzern von Infusorien mit etwas Thon und Eisenoxyd.

Zink-, Zinn-, Blei-, Britannia-Waren werden nach dem Schleifen, Polieren, Entfetten erst verkupfert, ehe man sie in das Nickelbad bringt.

Beim Vernickeln, überhaupt bei allen Galvanisierungen, sind die ins Bad eingehängten Gegenstände häufig zu schütteln, damit Luftbläschen entfernt und die nächsten umhüllenden Schichten durch frisch gesättigte ersetzt werden.

Für Eisenblech-Vernickelung ist der Strom so zu regulieren, dass die Vernicklung in 15 bis 20 Minuten vollendet ist.

Porwell empfiehlt:

1. 124 g Nickelsulfat, 93 g Nickelcitrat und 31 g Benzoësäure.

2. 62 g Nickelchlorür, 62 g Nickelcitrat, 62 g essigsaures Nickelsalz, 62 g Nickelphosphat und 31 g Benzoësäure.

3. 93 g Nickelsulfat, 93 g Nickelcitrat, 31 g benzoësaures Nickelsalz und 8 g Benzoësäure.

Ein in den meisten Metallwarenfabriken gebräuchliches Bad: Löse 5 kg Nickelammon in 100 l Wasser,

füge $2^1/_2$ kg Benzoësäure und $1^1/_4$ kg Chlornatrium (Kochsalz) hinzu, koche durch, säure mit Citronensäure an und neutralisiere durch Salmiakgeist.

Versilberung. De la Rive 1840.

Kalt werden versilbert: Kupfer, Bronze, Neusilber, Messing, Nickel; warm: Zink, Stahl, Eisen, Blei, Zinn. Letztere Metalle sollten vorher einen dünnen Überzug von Kupfer erhalten.

Bad:	Salpetersaures Silber	150 g
	Cyankalium	250 „
	Reines Wasser	10 l.

Die Anoden bestehen aus reinen Silberblechen, an Platindrähten aufgehängt; sie müssen ganz in das Bad eingetaucht sein. Anoden-Entfernung 15 cm; Stromstärke 0,15 bis 0,25 Amp. für das dm^2 und 0,5 bis 0,75 V; der Niederschlag ist dann gut, feinkörnig.

Ein grossplattiges Element genügt oder mehrere nebeneinander, d. h. auf Strommenge verbunden.

Die Gegenstände werden im Bad etwas bewegt. Soll der Niederschlag stark werden, so nimmt man die Gegenstände nach 2 bis 4 Stunden aus dem Bade, kratzt und amalgamiert wieder. Entfetten, Abbrennen und Amalgamieren sind mit besonderer Sorgfalt vorzunehmen.

Die Cyandämpfe wirken sehr betäubend; man arbeite in wohlgelüfteten Räumen. Enthält das Bad zu wenig Cyan, so geht der Niederschlag langsam, die Anode schwärzt sich; ist es zu reich an Cyan, wird die Anode weiss, der Niederschlag geht rasch, hat aber wenig Zusammenhang.

Der Anfänger wird gut daran thun, folgenden Prozess durchzuführen. Löse ein Zwanzigpfennigstück unter Kochen auf Sand in Salpetersäure, beobachte die aus dem Glaskolben aufsteigenden gelbroten Dämpfe; scheide mit Kochsalzlösung das Silber aus, der käsige Niederschlag aus dem Silbernitrat (Höllenstein, salpetersaures Silber) ist Chlorsilber; giesse das nicht niedergeschlagene Kupfernitrat ab; löse das Chlorsilber in Cyankali, das unter Erwärmen im Wasser aufgelöst worden, unter Umschütteln auf und giesse noch ebenso viel Wasser dazu. Verbinde den positiven Pol (Kupfer, Kohle) eines galvanischen Elementes mit einem kleinen Silberstreifen oder in Ermangelung mit einem Kohlenstück und einem kleinen polierten, durch Eintauchen leicht amalgamierten Gegenstand mit dem negativen Zinkpol; in kurzer Zeit überzieht sich der Gegenstand mit einer sehr dünnen Schicht schneeweissen Silbers, die bei leichtem Hin- und Herreiben mit einem Polierstahl oder Blutstein Silberglanz annimmt. Blutstein ist ein Eisenoxyd.

Das weisse Chlorsilber wird, dem Lichte ausgesetzt, allmählich braun und zuletzt schwarz. Auf dieser Erscheinung beruht die Photographie. Man reibe einen Streifen Fliesspapier mit feuchtem Chlorsilber ein, lege ihn zur Hälfte in ein Buch; die äussere Hälfte wird, je nach der Lichtstärke, langsamer oder schneller dunkel; der eingeschlossene Streifen bleibt weiss.

Versilberung mit Zinkkontakt und durch Einreiben. a. Man umwickelt die kleinen Gegenstände mit blankem Zinkdraht oder Zinkblechstreifen und legt sie in das kalte oder besser in das erwärmte Bad.

b. Man reibt mittels eines feuchten Korkes unter stärkerem Druck auf das Metall ein Gemenge aus 3 Teilen Chlorsilber, 3 T. Kochsalz, 2 T. Schlämmkreide und 6 T. Pottasche, bis der Silberüberzug glänzend zu werden beginnt, dann spült man den Gegenstand ab, putzt und poliert ihn.

c. Man mengt 1 T. gepulverten Höllenstein mit 3 T. Cyankaliumpulver, befeuchtet, bis ein Brei entsteht und trägt diesen durch Reiben auf, dann spült man den Gegenstand und trocknet ihn.

Eintauch-Versilberung. Die wohl gereinigten Gegenstände kommen in ein Silberbad mit überschüssigem Cyankalium; die im Moment des Eintauchens erfolgende Versilberung ist nur hauchdünn und kann durch längeres Eintauchen nicht solider gemacht werden. Man löst 15 g salpetersaures Silber in $\frac{1}{4}$ l Wasser, 50 g Cyankalium in $\frac{3}{4}$ l Wasser und giesst die Silberlösung langsam unter Umrühren in die Cyankaliumlösung.

Man macht die Eintauch-Versilberung gewöhnlich im warmen Bade und spricht daher von Silbersud.

Glasversilberung. Zu 100 cm^3 zehnprozentiger Silbernitratlösung fügt man tropfenweise gerade soviel Ammoniak zu, dass sich der zuerst bildende Niederschlag wieder auflöst, wobei man sorgfältig jeden Überschuss von Ammoniak vermeiden muss. Dann giesst man zu der Flüssigkeit soviel destilliertes Wasser hinzu, dass die Lösung (A) den Raum eines Liters ausfüllt.

Aus der käuflichen vierzigprozentigen Lösung von Formaldehyd stellt man durch Zusatz von destilliertem Wasser eine einprozentige Lösung (B)

her, die wegen ihrer starken Verdünnung ziemlich lange brauchbar bleibt.

Unmittelbar vor der Versilberung mischt man schnell zwei Raumteile der Lösung A und einen Raumteil der Lösung B gut durcheinander und giesst die Mischung sofort auf die zu versilbernde Glasfläche, welche man vorher durch Reiben mit Sämischleder und Polierrot vollkommen gereinigt hat. Nach 5 bis 10 Minuten hat sich bei Zimmertemperatur alles Silber aus der Lösung als eine spiegelnde Schicht niedergeschlagen, die man mit destilliertem Wasser abspritzt und dann lackiert oder poliert, je nachdem man ihre Vorder- oder Rückseite als Spiegel benutzen will.

Erkennung einer echten Versilberung. (Vorschrift für Steuerbeamte nach dem Bundesratsbeschluss vom 2. Juli 1885.) Eine Stelle des Gegenstandes wird mit Ätheralkohol gewaschen, mit Fliesspapier getrocknet und mit 1 Tropfen einer 1 bis 2% Lösung von Zweifach-Schwefelnatrium betupft (dasselbe wird hergestellt durch Kochen von 30 g kristallisiertem Schwefelnatrium, 4,2 g Schwefelblumen und 25 g Wasser und nachherigem Verdünnen bis zu 1 l Flüssigkeit). Der Tropfen bleibt 10 Minuten sitzen, und wird dann mit Wasser abgespült; bei echter Versilberung bleibt ein runder, gleichmässig grauer Fleck. Einfacher ist eine Lösung von fünffach Schwefelkalium.

Vergoldung. (Bei 50° C anzuwenden):

	für Silber, Kupfer u. reiche Kupferlegiergn.	Schmied- u. Gusseisen, Stahl
Phosphors. Natron (kristallisiert)	600 g	500 g
Doppelt schwefelsaures Natron	100 „	125 „
Cyankalium	10 g	5 g
Chlorgold	10 „	10 „

Man löst das phosphorsaure Natron in 8 l warmem Wasser, das Chlorgold in 1 l Wasser und mischt beide Flüssigkeiten langsam. Das Cyankali und das doppelt schwefelsaure Natron löst man in 1 l Wasser und mischt diese Lösung mit den beiden andern. — Der Niederschlag erfolgt rasch und in hinreichender Stärke. Als Anode dient ein Gold- oder Platinblech. Die grüne Vergoldung erhält man durch Zusatz von Silber, die rote durch Kupferzusatz.

Wird der Niederschlag schwarz oder dunkelrot, ist Cyanlösung beizugeben; wird er graulich und bildet er sich langsam, fügt man Chlorgold zu.

Zink, Blei, Zinn, Antimon und ihre Legierungen sind vor der Vergoldung schwach zu verkupfern.

Anzuempfehlen ist vor der Vergoldung das Verquicken der Gegenstände. Man taucht diese, wohl gereinigt, einige Augenblicke in eine Quick- oder Verquecksilberungsbeize von 1 l Wasser, 1 g salpetersaurem Quecksilber und 2 g reiner Schwefelsäure, wäscht gut ab und hängt sofort ins Goldbad ein.

Vermessingung.

Bad für alle Metalle nach Roseleur:

Kohlensaures Kupfer	100	g
„ Zink	100	„
„ Natron	200	„
Doppelt schwefelsaures Natron	200	„
Cyankalium (95 bis 100%)	200	„
Arsenige Säure	2	„
Destilliertes Wasser	10	l

Dieses Bad wird für Eisendraht und Tombak bei 50° C., für andere Artikel kalt angewendet. Als

Anode dient Messing. Wird der Niederschlag zu dunkel, so fügt man Zink, wird er zu hell, so fügt man Kupfer zu. Zu schwacher Strom giebt einen roten, zu starker Strom einen weissen oder bläulichweissen Niederschlag. Stromstärke 0,5 bis 0,55 Amp. für das dm^2; Spannung 3 bis 3,5 V. Anodenfläche doppelt so gross als die Warenfläche.

Nach Pfanhauser für alle Metalle:

1 l Wasser
40 g Cyankupferkalium
40 „ Cyanzinkkalium
2 „ Cyankalium rein
2 „ Salmiak kristall.
10 „ Ammonsoda

} lauwarm zu lösen, solange umrühren, bis alle Salze gelöst sind.

Temperatur des Bades: 20 bis 25° Celsius.

Stromspannung für:

Zink	2½	Volt,
Eisen	3	„ ,
Ketten	3 bis 3½	„ ,
für kleine Massenartikel	4	„ '

Stromdichte: 0,5 Amp. auf 1 dm^2.

Aluminiumbad.

Die elektrolytische Ausscheidung von Aluminium gehört zu den schwierigsten Operationen der Galvanostegie. Man bereitet ein Bad aus Alaun (doppelt Aluminium-Kaliumsulfat) mit 300 T. Wasser, setzt 10 T. Aluminiumchlorür hinzu, erwärmt auf 100° C. lässt abkühlen und giebt 10 T. Cyankalium bei. Die Ware muss vollkommen rein sein; Strom schwach; Anode ein Aluminiumblech. Der Niederschlag ist

blauglänzend und hat vor Silber den Vorzug, dass er durch schweflige Gase nicht geschwärzt wird.

Nach dem „Scientific American“ stelle man zunächst die beiden folgenden Lösungen her: 1) Ammoniakalaun 2 kg, Wasser 10 l. 2) Pottasche 2 kg, Wasser 10 l, kohlensaures Ammonium 8 bis 10 g. Diese beiden Lösungen vermischt, geben einen Thonerdeniederschlag, den man sorgfältig wäscht und sodann in eine Lösung bringt von folgender Zusammensetzung: Ammoniakalaun 3 kg, Wasser 35 l, reines Cyankali 2 kg. Das Ganze lässt man eine halbe Stunde in einem eisernen Gefässe kochen, giebt alsdann eine Lösung von 2 kg Cyankalium auf 20 l Wasser hinzu, lässt von neuem 15 Minuten lang kochen, filtriert dann, um den gebildeten Niederschlag abzusondern, und bewahrt die Flüssigkeit für die Bildung des Bades auf. Der mit Aluminium zu bedeckende Gegenstand wird an der negativen Elektrode (Zink) aufgehängt. Die positive Elektrode wird von einer Aluminiumplatte gebildet. Das Bad muss auf einer Temperatur von 25^0 bis 65^0 erhalten werden. Sobald der Überzug eine etwas graue Farbe annimmt, braucht man ihn nur, um ihm Glanz zu verleihen, in eine Natronlösung zu tauchen. Man kann mit diesem Bade verschiedenfarbige Überzüge erhalten, wenn man an die positive Elektrode eine Gold-, Nickel-, Kupfer- oder Silberplatte hängt.

Aluminium wird nach Chr. Göttig mit Kupfer überzogen, indem man eine ziemlich konzentrierte Kupfervitriollösung mit Zinn (Staniolpapier) einreibt. Das Reibemittel bildet mit Aluminium und der Salzlösung ein galvanisches Element.

Eisenbad für Abdrücke. Böttcher 1846.

Gleiche Teile Eisensulfat und Magnesiumsulfat werden in Wasser gelöst (spec. Gew. 1,555) und die Lösung mit kohlensaurer Magnesia gesättigt. Eine Eisenanode von etwa gleicher Oberfläche wie die der Ware wird in einen Abstand von 4 cm von der Ware eingehängt. Die Stromstärke darf nur 1,019 Amp. auf 1 dm^2 betragen.

Für den lernenden Praktiker glauben wir über dieses wichtige Kapitel Andeutungen hinreichend gegeben zu haben; der ausübende Praktiker wird sich auf eigene Erfahrungen verlassen und im Notfall zu Specialwerken greifen müssen.

Warnung. Cyankalium ist eines der stärksten Gifte, wovon wenige Zehntelgramm genügen, um den Tod herbeizuführen. Man berühre es nie mit den blossen Händen, jedenfalls nicht, wenn dieselben Schnitte oder Risse oder auch nur Risschen haben; denn die tödlichen Wirkungen desselben können so rasch sein, dass keine Zeit bleibt, ein Gegenmittel anzuwenden. Dieses ist Trinken einer sehr verdünnten Lösung von essigsaurem Eisenoxyd. Aber auch alle starken Säuren, Kupfersalz-, Bleisalz-, Quecksilberverbindungen, sowie Ätzkali und Ätznatron sind Gifte.

Bestimmung der Stromrichtung und der Pole einer Batterie oder Dynamomaschine durch Elektrolyse.

Wie man aus dem Ausschlag der Magnetnadel die Stromrichtung, die bei der Galvanoplastik, bei

Accumulatorentladung und bei Bogenbeleuchtung nie verwechselt werden darf, bestimmt, ist schon bei den Messinstrumenten angegeben worden. Dasselbe kann man mit der Elektrolyse erreichen.

1) Beim Wasservoltameter fliesst der (positive) Strom nach dem Wasserstoff; wo sich also die grössere Gasmenge entwickelt, muss der negative Pol sein. Siehe Wasserzersetzung.

2) Man löst etwas Jodkalium in Wasser und fügt etwas Stärkemehl hinzu; da, wo eine blauschwarze Färbung auftritt, ist der positive Pol; das durch den Strom freiwerdende Jod färbt das Stärkemehl blauschwarz. Je näher die beiden Berührungspunkte der Pole bei einander liegen, desto rascher zeigt sich der Fleck.

3) Man löst in irgend einem Glase etwas Kupfervitriol auf und verbindet die Leitungsdrähte mit blank geschabten Bleistreifen; nach dem Eintauchen dieser Streifen bedeckt sich der mit dem negativen Pol verbundene Streifen mit einem dünnen Häutchen hellrot gefärbten Kupfers. Siehe Voltameter und Galvanoplastik.

4) Hält man diese Bleistreifen in verdünnte Schwefelsäure, so wird der mit dem positiven Pol verbundene Streifen braun. Siehe Accumulatoren.

5) Man hält die Leitungsdrähte nass nebeneinander auf angefeuchtetes blaues Lackmuspapier, am + Pol entsteht ein roter Fleck.

6) Ein Glasrohr von 5—8 cm Länge und 1 bis 2 cm Durchmesser ist beiderseits durch Korke oder Gummistopfen geschlossen, durch welche zwei Pla-

tindrähte mit Reibung hindurchgehen. Dieses Rohr ist fast ganz mit der empfindlichen Lösung gefüllt.

Nach der Grösse der EMK nähert oder entfernt man die Drähte von einander. Sobald der Strom durch die Flüssigkeit geht, färbt sie sich an einem der Pole.

Zu gleichem Zwecke kann ein Stück mit der Lösung getränkten Papiers dienen; man befeuchtet es und berührt dann beide Leitungsenden damit.

a. Lösung für Glasröhren: 50 g Glycerin, 3 g Salpeter, 20 g Wasser; 0,5 g Phenolphtaleïn in 10 g Alkohol gelöst. Der negative Pol umgiebt sich mit einem rotvioletten Scheine.

b. Lösung für Papier: 250 g Salpeter in 1 l Wasser gelöst. Das Papier wird in Streifen geschnitten, in dieses Bad eingetaucht und dann getrocknet. Hierauf wird es in eine Lösung von 5 bis 6 g Phenolphtaleïn in Alkohol getaucht.

Diesen letzteren Stoff kann man durch die folgenden ersetzen:

Neutrale Rosolsäure giebt Violett am negativen Pole.
Methylanilinviolett „ Blaugrün „ positiven „

Diese Erscheinungen wurden zur Konstruktion von chemischen Telegraphen verwendet.

Die Herstellung der Bäderkasten

geschieht neuerdings für nichtsaure Bäder aus emaillertem Gusseisen. Für saure Bäder werden mit Blei ausgeschlagene Holzkästen verwendet, die einen inneren Schutz gegen Berührung durch einen Kautschukfirnis oder durch Ausschlagen mit paraffinierten Tüchern erhalten.

Man kann auch Bäderkasten aus Holz herstellen und dieselben anstreichen mit einer Mischung von Pech und Kolophonium, die in Leinöl gesotten wurde. Äusserlich sind sie mit Asphaltlack gut anzustreichen. Für cyanhaltige Flüssigkeiten sind dieselben unbrauchbar, da sich das Pech darin löst; für solche Bäder eignen sich am besten gusseiserne emaillierte Wannen.

Eine galvanoplastische Anlage mit Dynamomaschine.

Fig. 117a. Ak MM ist eine Dynamomaschine, die einen Strom von bedeutender Elektricitätsmenge, aber von nur 2 bis 6 Volt liefert. Ein Rheostat R dient dazu, den durch den Feldmagneten fliessenden Strom und damit die Stärke des magnetischen Feldes

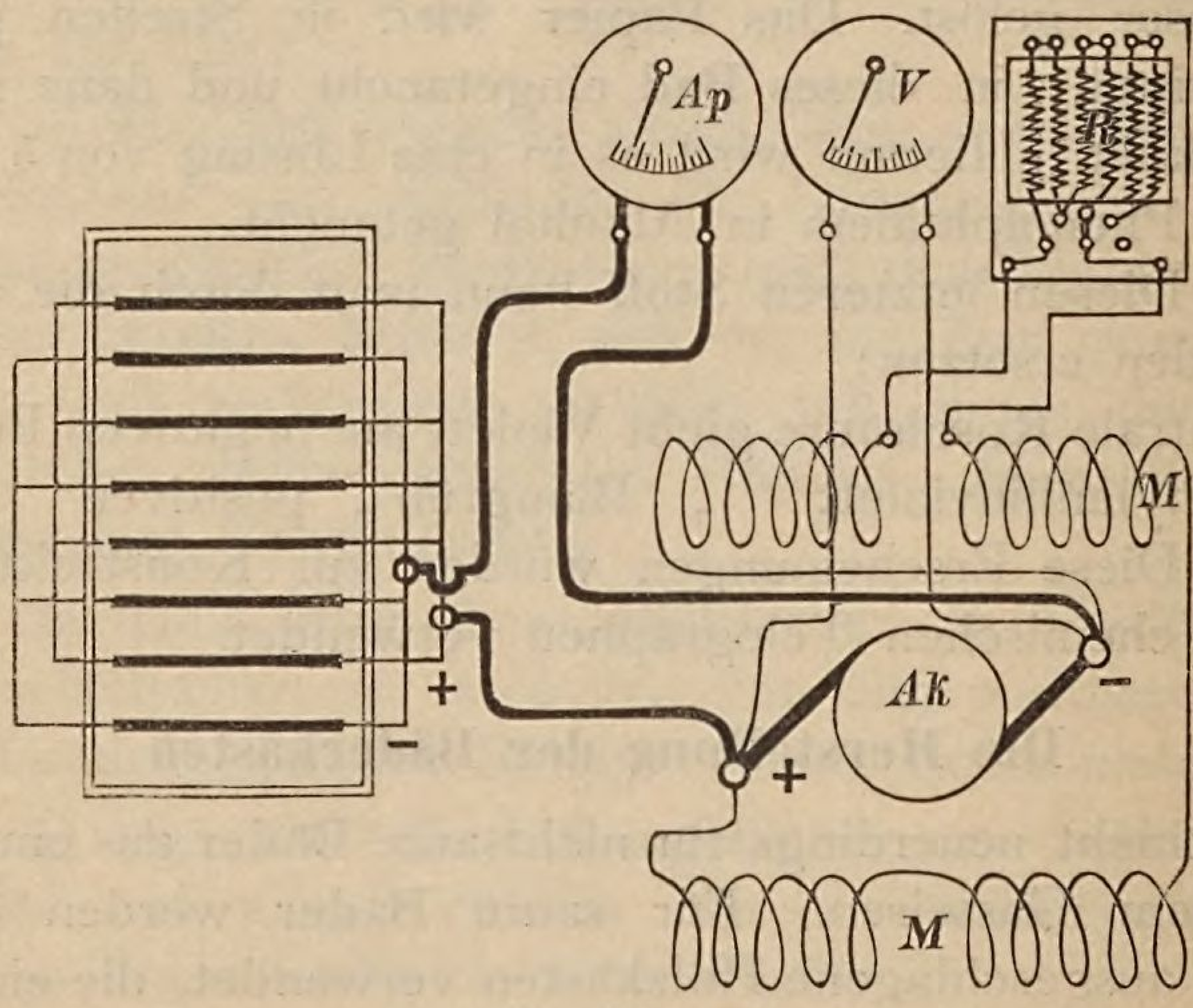


Fig. 117a.

und der EMK nach Bedürfnis zu ändern. Die Magnetspulen M und M liegen nämlich im Nebenschluss

zu dem im Anker Ak erzeugten Strome. Von den Polklemmen + und — wird zweitens ein kleiner Teil des Stromes zum Voltmeter V abgeleitet und drittens noch der Nutzstrom. Dieser fliesst von der + Polklemme zu einem auf dem Bäderkasten liegenden Stabwerk, an dem die Anoden (Kupfer-, Silber-, Nickelplatten) hängen, von da durch das Bad zu der Ware, von deren Stabwerk zum Ampèremeter Ap und von hier zurück zur — Polklemme.

Schaltung der Bäder. a. Die Hintereinanderschaltung, wenn alle Bäder gleiche Elektrodenflächen erhalten können. Die Stromstärke an der Maschine ist gleich der Stromstärke in den Bädern; die Spannung an der Maschine ist gleich der Summe der Spannungen in den Bädern, vermehrt um den Spannungsverlust in der Leitung.

b. Die Parallelschaltung ist für viele Zwecke die gebräuchlichste, weil die Warenfläche in den einzelnen Bädern beliebig verteilt werden kann. Die Stromstärke an der Maschine ist gleich der Summe der Stromstärken in den Bädern; die Spannung an der Maschine ist gleich der Spannung in den Bädern, vermehrt um den Spannungsverlust in der Leitung.

c. Die gemischte Schaltung ist nur selten im Gebrauch. In das Gebiet der Elektrochemie gehören ferner:

Die Galvanochromie oder galvanische Metallfärbung; sie ist die Kunst, eine oberflächliche Färbung und Verschönerung von leitenden Unterlagen durch einen äusserst dünnen Niederschlag auf elektrischem Wege herzustellen.

Die Heliogravüre oder die Kunst, elektrolytische Abdrücke von Photographien zu erzeugen.

Die Reinmetallgewinnung oder die Kunst, chemisch reine Metalle durch Elektrolyse zu gewinnen; Elektrometallurgie.

Das Gravieren der Metalle. Die positive Elektrode wird während der Elektrolyse aufgelöst; überzieht man also gewisse Stellen derselben mit Wachs, Asphaltlösung oder irgend einem isolierenden Stoffe, so bleiben diese Stellen erhalten, sie sind erhaben gegen ihre Umgebung.

Weitere Gebiete der Elektrochemie sind das Färben, Gerben, Bleichen u. s. w.

Kapitel V.

Elektrische Glüherscheinungen.

Wärmewirkungen des elektrischen Stromes.

In den Galvanometern zeigt der elektrische Strom mechanische, in den Accumulatoren und in der Galvanoplastik chemische Wirkungen; lässt man ihn aber durch einen dünnen Draht fliessen, so erwärmt er diesen, bringt ihn zum Glühen, unter Umständen selbst zum Schmelzen. Die Temperatur des Drahtes steigt um so höher, die in einer gewissen Zeit erzeugte Wärmemenge wird um so grösser, je stärker der Strom ist, und Joule hat aus Experimenten folgendes Gesetz aufgestellt: „Die Wärmemenge, die ein elektrischer Strom auf seinem Wege hervorbringt, ist gleich dem Produkt aus dem Quadrat der Stromstärke, dem Widerstand des Leiters und der Zeit, während welcher er durchgeflossen ist".

Soll mittels einer Batterie im äusseren Stromkreis eine möglichst grosse Wärmemenge erzeugt werden, so ist der Schliessungsdraht so zu wählen, dass sein Widerstand gleich ist dem inneren Widerstand der Batterie: $R_i = R_a$.

Bei einem Leiter von grosser Oberfläche geht der grösste Teil der von dem Strom erzeugten Wärme durch Strahlung an die Umgebung verloren, wie dies

in den Stromleitern gewöhnlich der Fall ist. Hat jedoch der durchflossene Körper bei kleinem Volumen einen grossen Widerstand, so ist die ausgestrahlte Wärmemenge geringer und seine Temperatur muss steigen. Ein Kohlenfaden von 200 mm Länge und 0,2 mm Durchmesser besitzt einen Widerstand von 400 Ω; ein Kupferdraht von gleichen Dimensionen hat nur etwa 0,1 Ω.

„So oft man also in einen elektrischen Stromkreis eine Strecke von grossem Widerstand und kleinem Volumen einschaltet, wird in dieser Strecke eine bedeutende Wärmemenge erzeugt“.

Auf diesem Prinzip beruhen die Beleuchtungssysteme mit Glühlicht.

Die Stoffe, aus denen solche Leiter hergestellt werden, müssen somit unverbrennlich sein, sich in feine Fäden ziehen lassen und einen hohen Widerstand besitzen. Denn die galvanische Temperaturerhöhung eines Drahtes ist proportional dem specifischen Leitungswiderstand des Materials, aus dem der Draht besteht, und umgekehrt proportional der dritten Potenz des Drahtdurchmessers. Kap. VII.

Ursprünglich hat man Versuche mit Platindrähten in Spiralform gemacht. Da dieses Metall nicht oxydiert, einen bedeutenden Widerstand und einen sehr hohen Schmelzpunkt besitzt, erhielt man bei sehr regelmässigem Strom für gewisse Fälle befriedigende Resultate; man erreichte damit die Teilbarkeit des Lichts, d. h. die Verteilung auf einzelne Lichtpunkte. Sobald jedoch die Maximalgrenzen der vorgeschriebenen Stromstärken überschritten wurden, schmolz der Draht. Zwar hatte man Apparate er-

sonnen, die den Strom unterbrachen, sobald er zu mächtig wurde und die Lampen gefährdete; aber welch subtile, welch unvollkommene Vorrichtungen!

Platinlampe (Grove 1845) und Anzünder.

a. (Fig. 118.) Durch einen Kork oder Gummistopfen führt man zwei Kupferdrähte von 1 mm Dicke, biegt sie am einen Ende zur engen Öse und befestigt (lötet, klemmt) dazwischen eine Platinspirale (über einer Nähnadel gewunden), deren Feinheit nach der Stärke des anzuwendenden Stromes zu wählen ist; setzt den Kork auf einen kleinen Glasballon und verschiebt die Zuleitungsdrähte so, dass sich die Spirale in der Mitte der Kugel befindet.

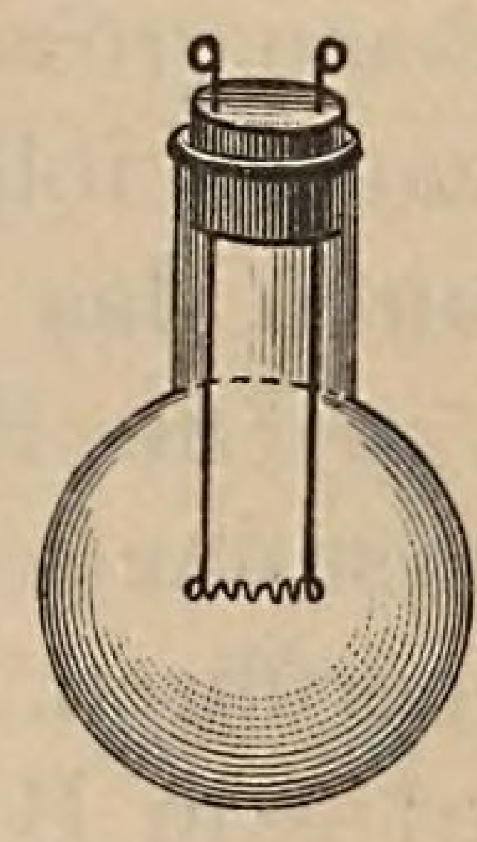


Fig. 118.

Die Platinlampen verzehren viel Elektricität und die damit erhaltene Beleuchtung ist teuer; doch zu Experimenten leisten sie auf kurze Zeit manchmal gute Dienste.

Bei den verschiedenen Wärmegraden sendet der erhitzte Körper verschiedene Farbenstrahlen aus: bei 525° sendet er reichlich Wärmestrahlen aus und ist rotglühend; ausserdem sendet er noch aus:

bei	700°	dunkelrote	Strahlen
„	800°	dunkelkirschrote	„
„	900°	kirschrote	„
„	1000°	hellrote	„
„	1100°	dunkelorange	„
„	1200°	hellorange	„
„	1300°	gelbe	„
„	1500°	hellblaue	„
„	1700°	dunkelblaue	„
„	2000°	violette	„

Die Mischung aller dieser gleichzeitig ausgestrahlten Farben erzeugt weiss, so dass ein fester Körper bei 2000° und darüber alle im Sonnenlicht enthaltenen Strahlen aussendet. Nur Platin und Iridium schmelzen bei 2000°—2500°, alle anderen Metalle früher; Kohle ist bei unseren irdischen Temperaturen überhaupt nicht schmelzbar. Je höher die Temperatur steigt, desto grösser ist verhältnismässig die Lichtausstrahlung, woraus folgt, dass man nur bei sehr hohen Temperaturen das Glühlicht vorteilhaft erzeugen kann.

Die Platinspirale erreicht ihr stärkstes Glühen erst dann, wenn die einzelnen Windungen sich beinahe berühren. Sie glüht mit demselben Strom heller in einem Bergwerk mit schlagendem Wetter als in der gewöhnlichen Luft.

b. Ein Anzünder ist nichts anderes als eine Platinspirale, die z. B. durch ein Chromsäure-Element mit einer Zinkplatte zwischen zwei Kohlenplatten zum Glühen gebracht wird. Das Elementglas ist so tief, dass die Elektroden erst dann in die Lösung eintauchen, wenn es geneigt wird. Die Eigenschaft des Platins, die Gase in seinen Poren zu absorbieren (verschlucken, verdichten), begünstigt die Entzündung der Gase. Die Hitze der Spirale zersetzt die Brennstoffe, die aufsteigenden Dämpfe entzünden sich und die Flamme geht auf den Docht über. Die Ausgaben für einen solchen Ersatz der Zündhölzchen sind unbedeutend.

c. Wählt man das Elementglas weithalsig und etwa 20 cm hoch, den Stopfen aus Gummi, die Elektrodenplatten 10 cm lang und 5 bis 6 cm breit und verbindet man die Pole durch eine kleine Platinspirale,

so hat man einen tragbaren Anzünder. Endlich könnte man auf dem Stopfen eine sehr kleine Weingeist- oder Benzinlampe zwischen zwei Drähten leicht beweglich so aufhängen, dass der Docht vor die Spirale kommt, wenn man das Element neigt.

Eine Anzündeanlage.

(Fig. 119.) Mit einer Braunstein- oder Meidinger - Batterie lässt sich eine grosse Anzahl Anzünder für eine ganze Wohnung einrichten und es genügt der Druck auf einen Knopf, um eine Kerze anzuzünden und ein schwaches Licht einige Augenblicke benutzen zu können. Man zieht von der Stromquelle durch die Räume zwei Drähte (1 bis 1,5 mm dick) und zweigt die Nebenleitungen (0,5 mm dick) ab, in welche die Druckknöpfe und Platinspiralen eingeschlossen werden. Weitere Anwendungen in IX, Uhrzeichen.

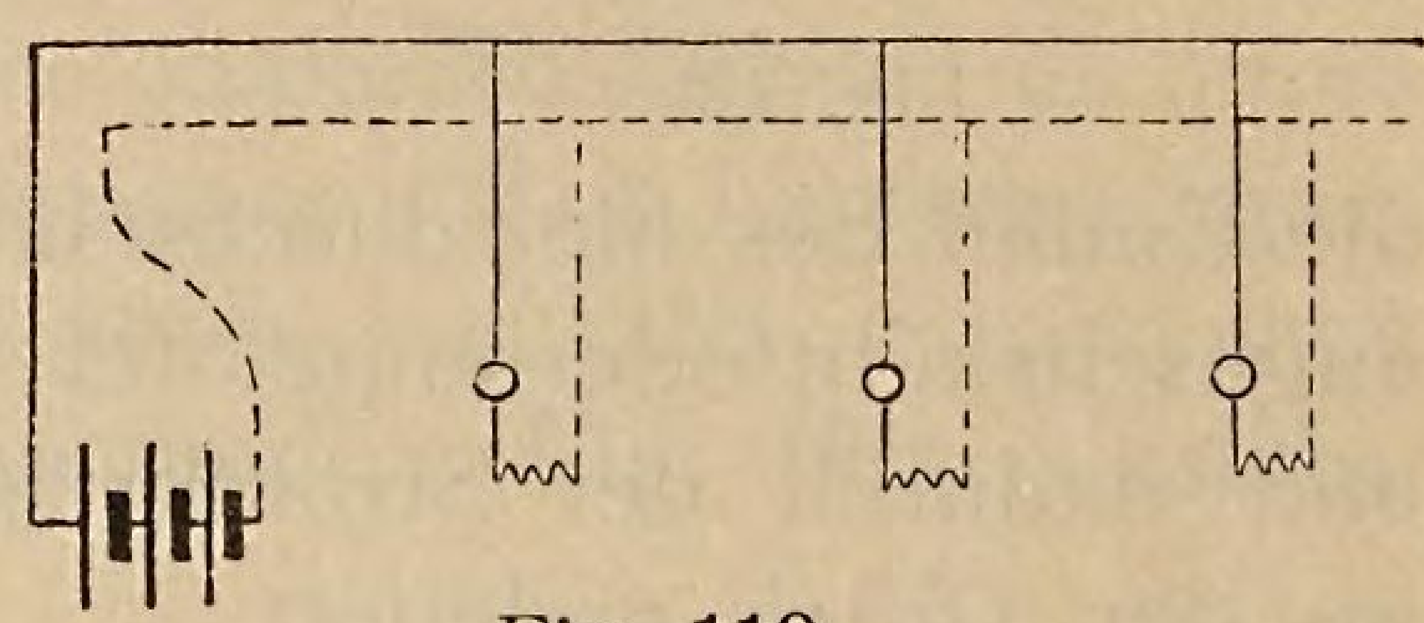
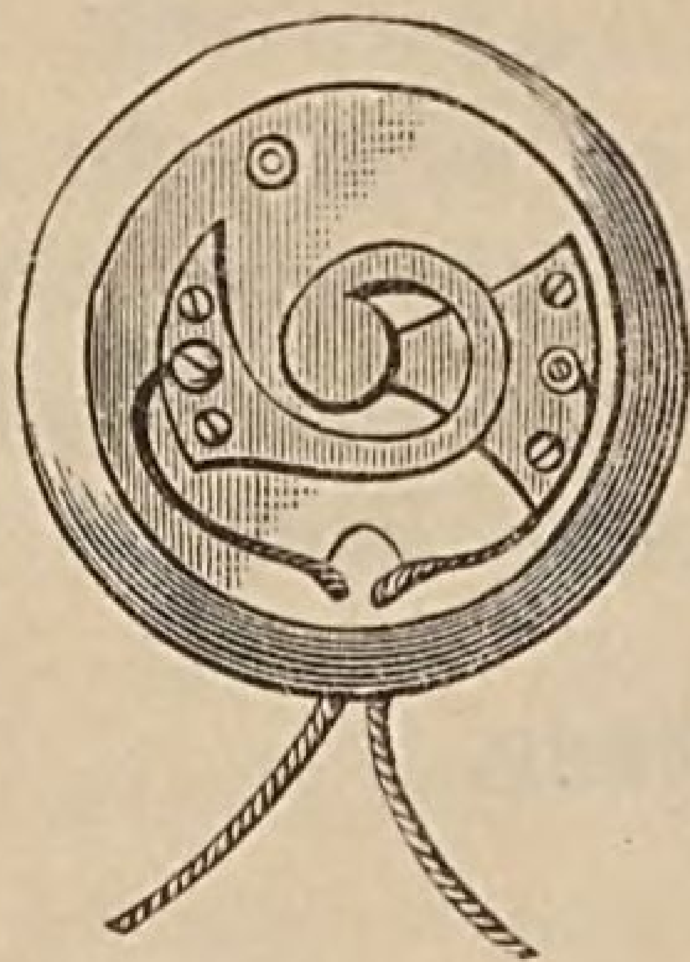


Fig. 119.

Ein Druckknopf

ist ein Holzring (Fig. 120 und 121) von 4 bis 5 cm Durchmesser und 1 bis 2 cm Dicke, der in der Mitte eine Bohrung von 1 cm Weite hat. An die Basis sind zwei Kupfer-, oder Messing-, oder Neusilberbleche einander gegenüber so eingeschraubt, dass sie 1 mm über einander stehen. Durch einen kleinen Stift aus Holz oder Porzellan, der in der centralen Öffnung sitzt, werden diese Metallstreifen, an welche



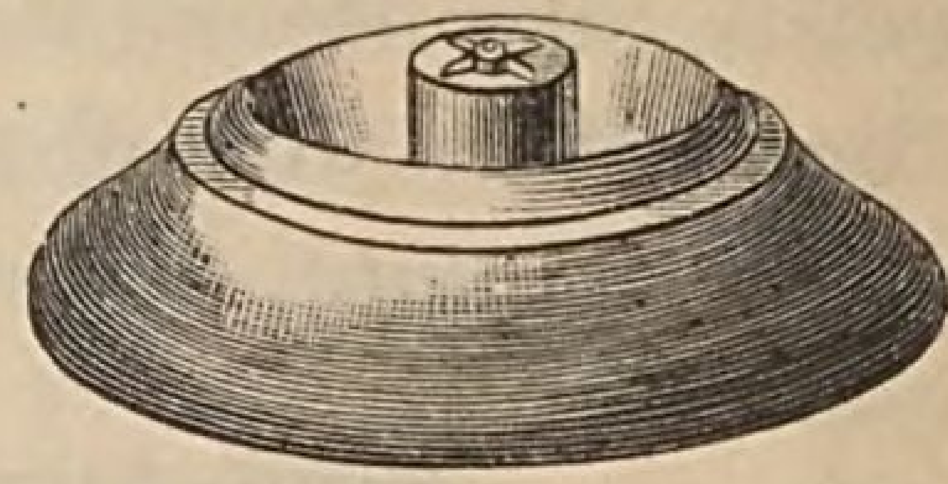


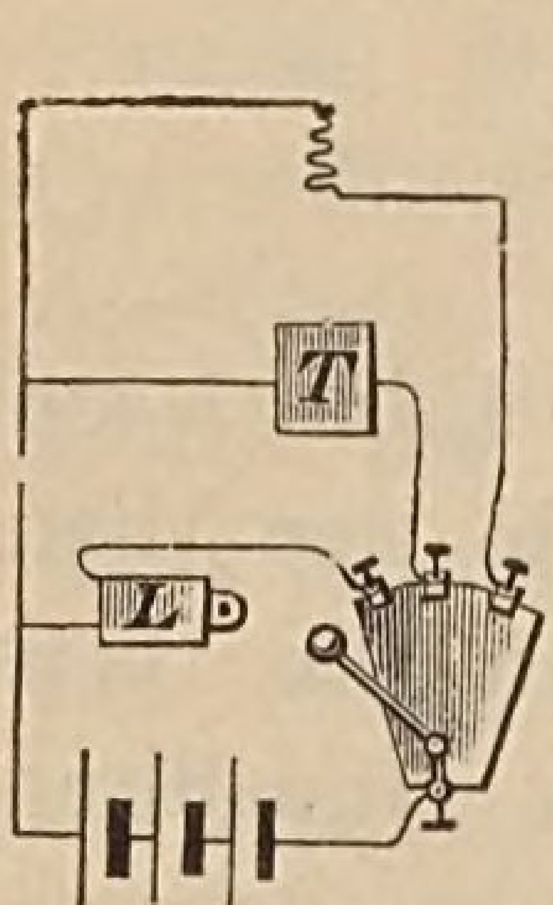
Fig. 121.

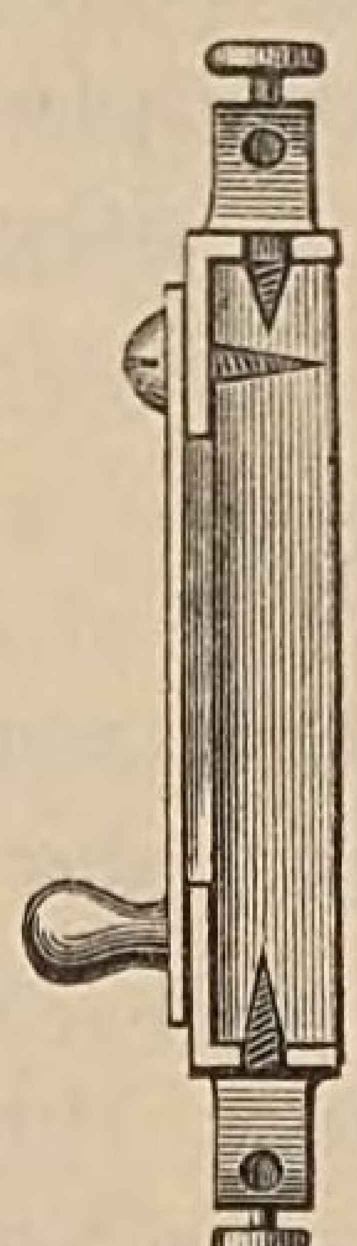
Fig. 120.

die Enden des hier durchschnittenen Leitungsdrahtes angeschraubt oder angelötet sind, zusammengedrückt und dadurch der Stromkreis so lange geschlossen, als der Druck andauert.

Stromschlüssel und Umschalter.

(Fig. 122—125.) Will man eine dauernde, aber doch unterbrechbare Verbindung herstellen, so schaltet man einen Schlüssel in die Leitung ein. Auf ein







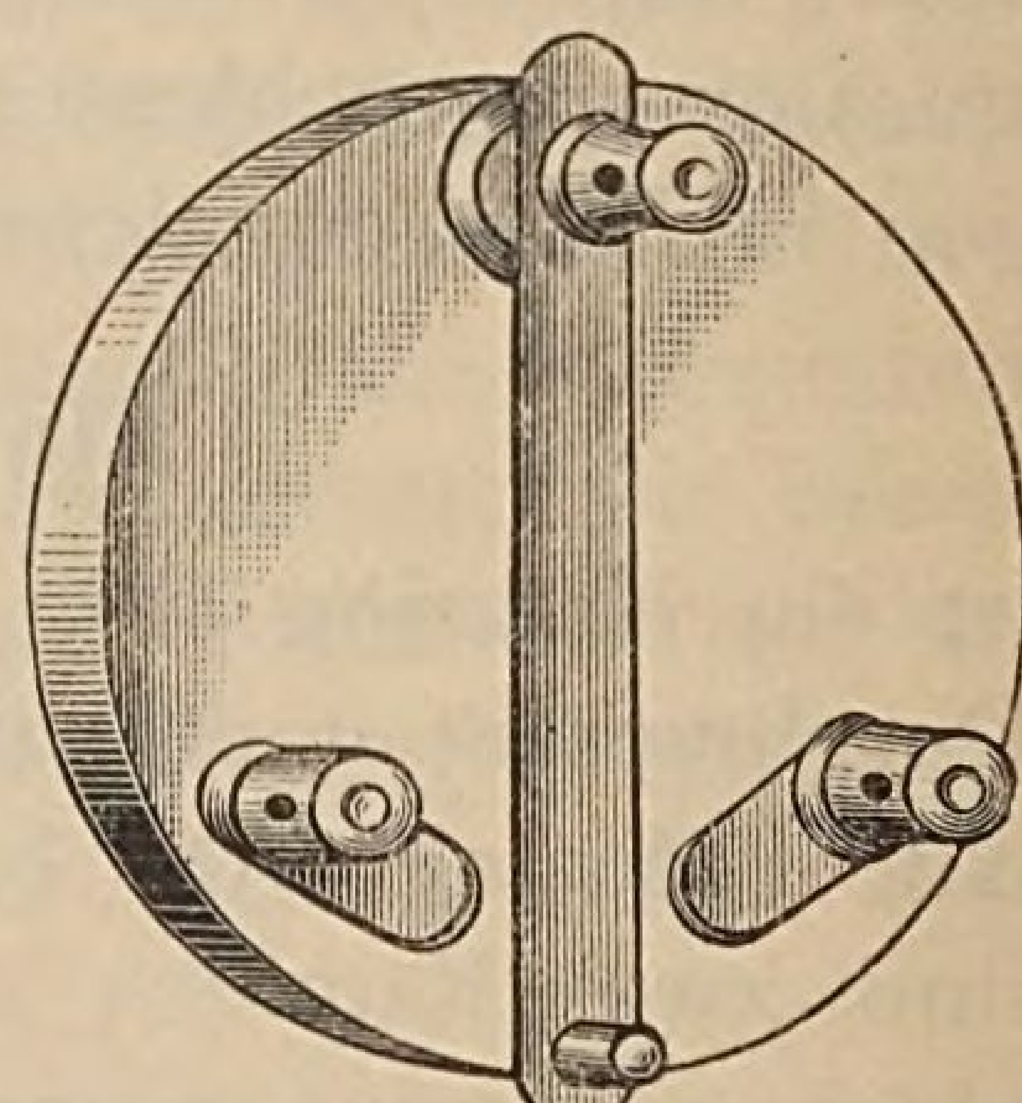


Fig. 122. Fig. 123. Fig. 124. Fig. 125.

Brettchen von 5 bis 7 cm Länge schraubt man mittels zweier Polklemmen zwei Metallplättchen einander

gegenüber, das eine ist etwa 2 cm, das andere 3 bis 4 cm lang; das kurze ist fest angeschraubt, das längere unter seiner Klemme drehbar, so dass es an einem Knopf aus Holz oder Porzellan mit Spannung und Reibung über das kurze gelegt und der Strom bleibend geschlossen werden kann. Zu beiden Seiten der beweglichen Feder schlägt man Anschlagstifte in das Grundbrett, die die Bewegungen der Feder begrenzen.

Bringt man mehrere kurze Plättchen mit ihren Polklemmen so an, dass sie auf dem Umfange eines Kreisbogens liegen, so kann man den Strom nach ebenso vielen Richtungen senden. Fig. 122. L Läutewerk, T Telephon.

Derselbe Umschalter dient auch dazu, nach Bedürfnis eine kleinere oder grössere Anzahl von Elementen zu einer Batterie zu vereinigen. Wird in Fig. 125a der Schlüssel auf das Kontaktstück a gestellt, so ist das Element A in den Stromkreis S eingeschaltet; wird er auf d gedreht, so sind alle 4 Elemente angeschlossen, Batteriewähler.

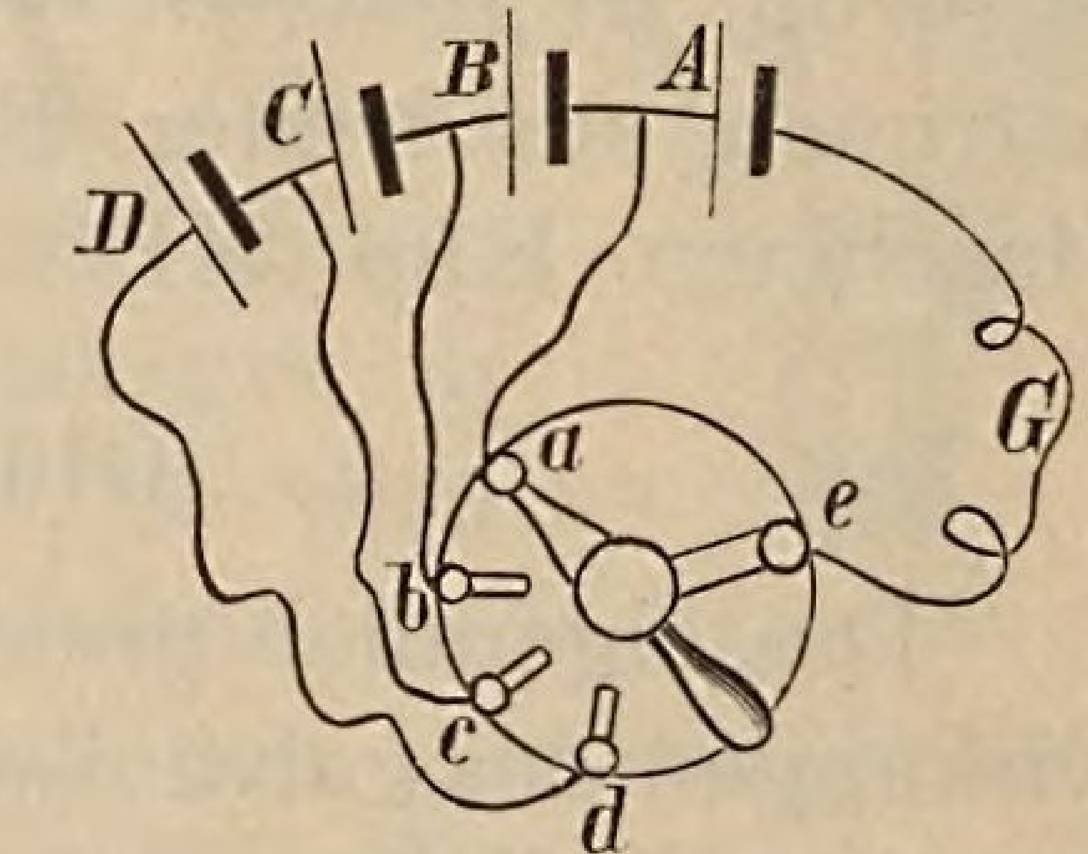


Fig. 125 a.

Das beschriebene Flaschen-Element lässt sich sehr bequem für Anzünder verwenden, wenn man die Zinkplatte an einer Spiralfeder aufhängt; ein Druck genügt dann, dieselbe in die Erregerflüssigkeit einzusenken. Über automatische (selbstthätige) Anzündungen siehe Uhrzeichen.

Elektrische Minenzündungen, Roberts 1837.

In Minen, Steinbrüchen, Torpedos wird das Pulver mittels eines feinen kurzen Platindrahtes, der im Inneren der Zündmasse angebracht ist, entflammt.

Versuch. In eine ½ bis 1 cm weite Papierröhre von 3 bis 4 cm Länge führe man bis in die Mitte zwei mit Kautschukhülle isolierte Kupferdrähte von ½ bis 1 mm Durchmesser, verbinde ihre entblössten Enden durch ein Platindrähtchen von 2 bis 3 mm Spannweite, schnüre die Röhre an einem Ende über den Kupferdrähten, fülle von der andern Seite her Pulver dicht auf und schnüre ebenfalls zu; der Zünder ist fertig. In gleicher Weise entzündet man Dynamitpatronen aus weiter Ferne mit magnetelektrischen Maschinen. Kap. XIV.

Glühlampen.

Das eigentlich praktische Gebiet haben die Glühwirkungen des galvanischen Stromes sich in den Glühlampen mit Kohlenfäden erobert, erfunden 1855 von H. Göpel in New-York. Denn das Glühlicht fügt und schmiegt sich an alle Anforderungen, die man an eine Beleuchtung stellt. Es vereinigt in sich Reinheit, Reinlichkeit, Kühle, Anbequemung, Ruhe, Schönheit, Sicherheit. Deshalb hat sich die Fabrikation rasch dieser Lampen bemächtigt. Ihre Herstellung erfordert grosse Geschicklichkeit und vielerlei Einrichtungen. Darum dürfte eine kurze Darstellung ihrer Fabrikationsweise von Interesse sein.

Die Lampe Edison (1879) (Fig. 126) ist der erste und demzufolge der Grundtypus aller Glühlampen;

an Leuchtkraft, Dauer und Sparsamkeit ist sie noch nicht übertroffen worden. Der Faden ist aus Bambusfasern, jetzt aus Celluloid, gebildet. Jene wurden anfänglich geschnitten, später gezogen. Die Zieheisen nutzen sich sehr stark ab. Nach der Karbonisierung, d. h. nachdem sie, in Hufeisenform gebogen, bei Luftabschluss verkohlt sind, kommen sie in die Präparatur, wo sich 75 % Ausschuss ergiebt. An zwei in einem Glaskegel eingeschmolzene dünne Platindrähte werden sie meist durch elektrolytisch niedergeschlagenes Kupfer befestigt. Man muss dünne Platindrähte zur Zuführung des Stromes wählen, weil Platin von allen Metallen allein annähernd den Ausdehnungskoefficienten des Glases hat, aber auch nur annähernd, darum dünne Drähte. Ist der Glaskegel in die Glaskngel eingeschmolzen, so wird diese mit der Quecksilber-Luftpumpe nahezu luftleer gemacht und das Ansatzröhrchen mit dem Lötrohre zugeblasen. Der Hals der Lampe ist vermittels Gipses in eine Messinghülse eingekittet. Der eine Platindraht ist an diese Messinghülse, der andere an ein dazwischen angekittetes Messingplättchen gelötet. Dreht man das Gewinde der Hülse in die Schraubenmutter, so ist der Strom geschlossen.

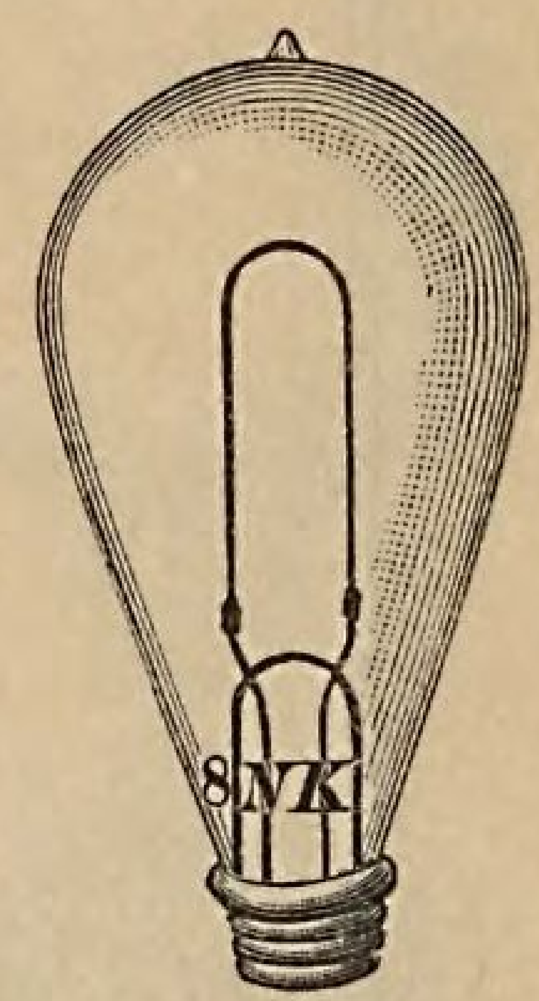


Fig. 126.

Lampe Swan. Auszug aus dem Reichspatent No. 13071. Baumwollener Faden wird vor der Verkohlung pergamentisiert, d. h. durch eine Einwirkung von Schwefelsäure in einen Zustand halber Löslichkeit versetzt. Der Glühkörper hat die Form eines Bogens mit einmaliger Schraubenwindung, die ihm teils vor,

teils nach der Verkohlung des Baumwollfadens gegeben wird. Der so hergestellte Glühkörper wird behufs Erzielung einer gleichmässigen Dichtigkeit in einer Kohlenwasserstoff-Atmosphäre durch den elektrischen Strom so stark erhitzt, dass sich auf den dünneren Stellen Kohlenschichten ablagern. Der Körper wird hierauf mit den Platindrähten verbunden und in die von Luft zu entleerende, aus einer 2 cm dicken Glasröhre geblasenen Glaskugel (Fig. 126a [1]) eingesetzt. Die Verbindung geschieht in der Weise, dass die Platinkontaktdrähte an dem einen Ende breit geschlagen und dann röhrenförmig zusammengebogen werden. In diese Röhren wird der pergamentisierte und karbonisierte Baumwollfaden gesteckt. Die zur Verbindung mit den Leitungsdrähten bestimmten Enden der Kontaktdrähte werden durchragend in ein Glasstückchen (Fig. 126a [2]) eingefügt. Kontaktdrähte und Kohlenfaden werden in ein Bad von flüssigem Kohlenwasserstoff getaucht; hier wird an den Enden, an welchen der Kohlenfaden in die Röhren eingefügt ist, auf elektrischem Wege ein Niederschlag von Kohlenstoff und dadurch eine innige Verbindung zwischen den Platindrähten und dem

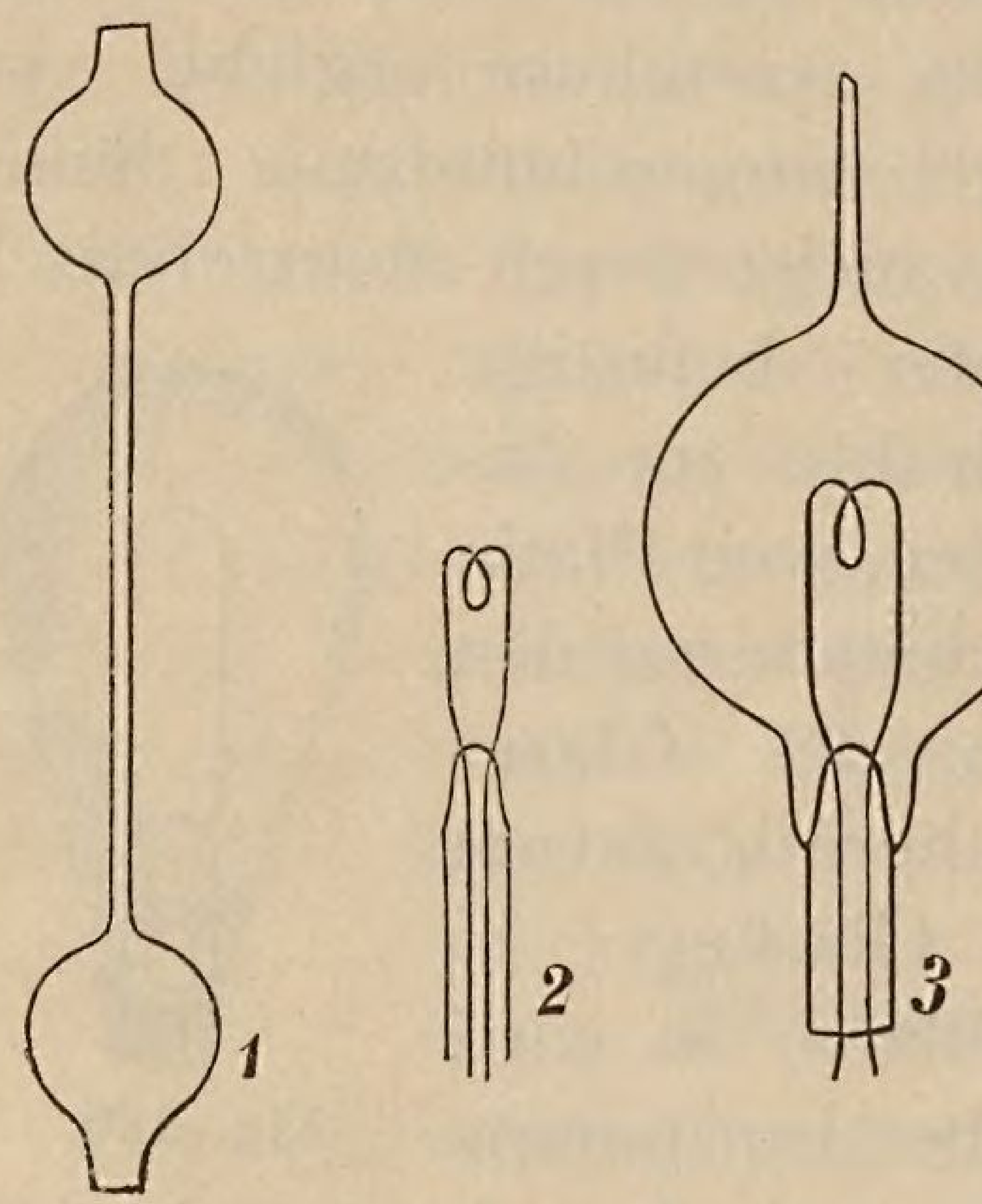


Fig. 126 a.

Kohlenfaden erzeugt. Alsdann wird das Glasstück mit den Platindrähten und dem Kohlenfaden in die Glaskugel eingelötet (Fig. 126a[3]) und aus dieser die Luft entfernt; — öfters werden auch die Platindrähte direkt in die Glaskugel eingeschmolzen.

Die Lampe Cruto. Fig. 127. Ein feiner Platindraht wird mit einem dicken Silberniederschlag bedeckt, durch das Zieheisen gezogen, bis er noch ca. 1 mm Durchmesser hat; hierauf wird das Silber in Salpetersäure aufgelöst, es bleibt ein Platindraht von 0,01 mm Durchmesser. Die abgeschnittenen, in Bügelform gebrachten und durch einen feuchten Kitt aus Kohlenstoff und Zucker aufgesetzten Stücke kommen in ihre Glaskugeln, durch die ein Strom Kohlenwasserstoff streicht; ein schwacher elektrischer Strom macht die Drähte glühend; nach einigen Stunden hat sich eine dichte Schicht Kohle darauf niedergeschlagen; nun pumpt man leer, bläst mit dem Lötrohr zu, verstärkt den Strom und verflüchtigt das Platin.

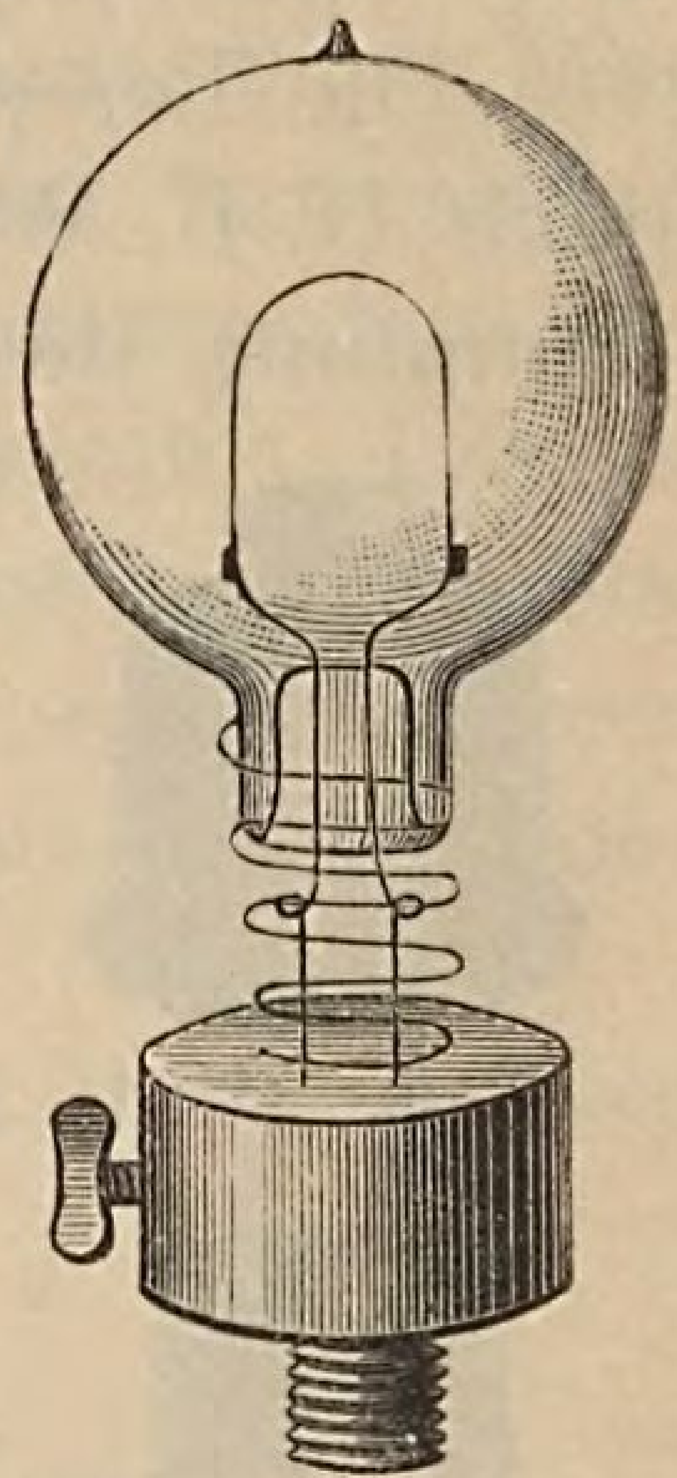


Fig. 127

Die Lampe Siemens & Halske. Kollodium wird auf einer ganz glatten Glasscheibe möglichst gleichförmig ausgebreitet, nach dem Trocknen mit einer besonders konstruierten Maschine in feine Streifen geschnitten, karbonisiert und darauf in der Glaskugel wie bei Cruto verstärkt. Die so gewonnenen Fäden besitzen grosse Festigkeit.

Die Luftverdünnung muss 0,2 mm Quecksilberdruck betragen, andernfalls nimmt die Leuchtkraft schnell ab, wie folgende Tabelle zeigt:

Druck	0,0	0,2	0,3	0,4	0,6	0,9	mm
Leuchtkraft	16,87	16,40	15,85	15,16	13,68	11,47	„

Sind die Lampen so weit fertig, so gelangen sie zum Photometrieren, werden mit einer Normallampe auf gleiche Helligkeit gebracht, nach Stromstärke und Spannung gemessen und schliesslich sortiert.

Die Temperatur der 100 voltigen Lampen beträgt nach H. F. Weber 1270° C. Die Grenze der Verdampfung des Kohlenfadens liegt bei 1330° C.

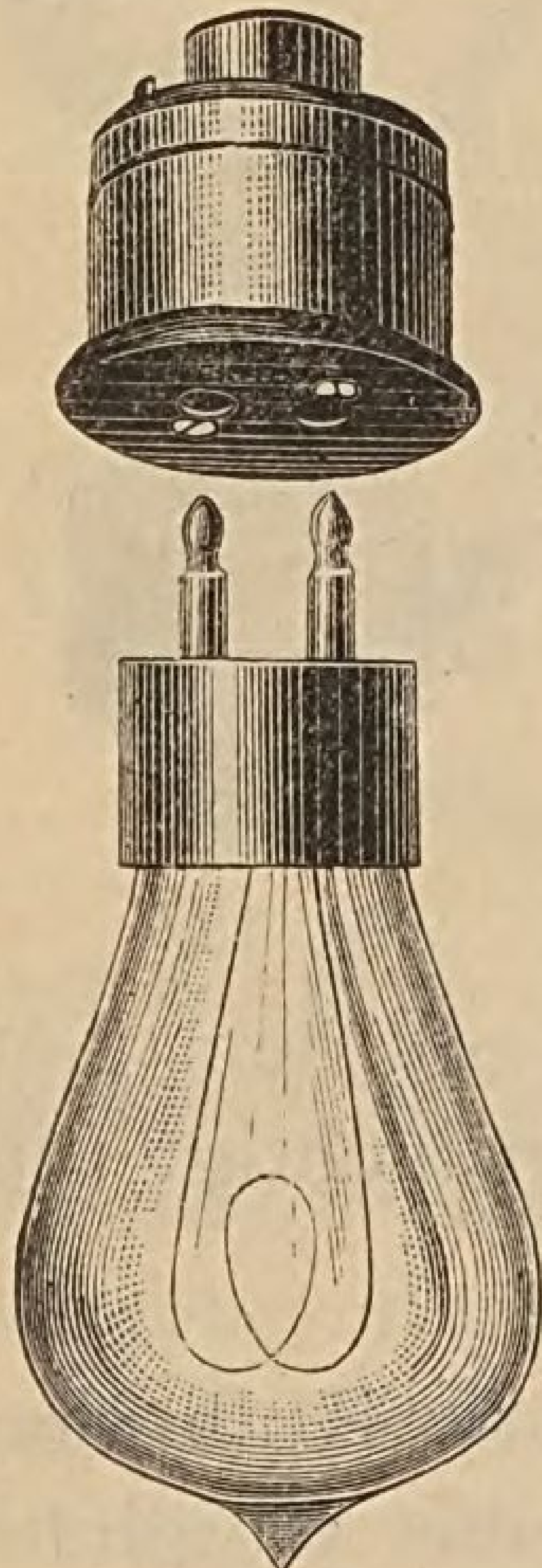


Fig. 128.

Fassungen der Glühlampen.

Die Glühfaser in Fig. 128 endet in zwei kräftigen Messingstiften, welche an den Enden mit zwei Einschnürungen versehen sind. Soll nun die Lampe befestigt werden, so fasst man sie an dem Messingring und führt die zwei Messingstifte mit leichtem Drucke in zwei im Innern der Fassung solid befestigte und entsprechend gebohrte Messingteile. An der Seite jener Teile sitzt eine Feder, welche den Messingstift an seiner Einschnürung umfasst, festhält und auf diese Weise den Kontakt herstellt.

Prüfung der Glühlampen.

Bei einer Prüfung der Lampen ist das Augenmerk zu richten:

1. Auf die Glühfaser. Schwache Stellen erkennt man am stärkeren Glühen. Schlechte Präparatur zeigt sich durch Abblättern derselben oder Schwarzwerden des Kohlenbügels. Dieser soll nicht zu nahe an die Glaswand kommen und seine Schleifen weit genug von einander abstehen;

2. Auf die Luftverdünnung (Vakuum). Schlechtes Vakuum erkennt man daran, dass der Bügel nach Erschütterung rasch zur Ruhe kommt. Sicherer ist die Prüfung mit dem Induktionsapparat (X). Man fasst die Lampe an der Glasbirne und hält sie an einen Pol des Induktoriums, während der andere Pol abgeleitet ist. Alsdann zeigt sich folgendes: Lampe voller Luft: keine Lichterscheinung; schlechtes Vakuum: intensives Leuchten wie bei Geissler'schen Röhren; gutes Vakuum: geringes Phosphoreszieren der Glaswände.

3. Messung der Stromstärke bei der normalen Spannung. Vergl. Tabellen.

4. Messung des Widerstandes.

5. Photometrische Messung der Leuchtkraft.

6. Bestimmung der Lebensdauer.

Eine Glühlampe zur Selbstanfertigung.

Das über die Fabrikation der Glühlampen Mitgeteilte thut genügend dar, dass von einer Selbstanfertigung derselben keine Rede sein kann. Indes ist es nicht ausgeschlossen, dass man sich zur Unterhaltung folgende, wenn auch wenig dauerhafte Einrichtung herstellt, da sie zugleich über andere Erscheinungen belehrt. In eine starke Glasröhre (Fig. 129) von 1 m Länge und 5 bis 10 mm innerer


Fig. 129.

Weite wird mittels paraffinierten Korkes und zweier Kupferdrähte ein Anzünder angebracht, nur wird der Platindraht durch einen Kohlenfaden ersetzt (den man aus einer zerbrochenen Glühlampe erhalten kann), die Röhre mit Quecksilber gefüllt und wie eine Barometerröhre in ein Gefäss mit Quecksilber gestellt.

Die früher beschriebene Platinlampe lässt sich in eine Glühlampe mit Kohlenfaden umwandeln, wenn man sie mit Wasserstoff füllt. Ist jedoch die Luft nicht vollständig verdrängt, so wird eine Explosion erfolgen.

Eine tragbare Glühlampe.

(Fig. 130.) Zwar sind Glühlampen, die ihre Elektricitätsquelle bei sich haben, weder bequem noch wohlfeil, doch können sie in manchen Fällen wirklich Dienste leisten. Wesentlich dabei ist nur, dass man in dem Apparate Leichtigkeit, geringen Raum und Eleganz zu vereinigen weiss.

In einen grossen gefälligen Öllampencylinder fertige man ein Gefäss aus Guttapercha oder wohlverleimter und paraffinierter Pappe für die Elemente; teile es in 8 Fächer, befestige an eine passende Holzscheibe 8 Paar Elektroden, jedes Paar aus einer Zinkplatte und 2 Kohlenplatten bestehend, verbinde diese in Serien (hintereinander oder auf Spannung), so dass ein Zink- und ein Kohlenpol frei bleiben; in den Mittelpunkt der Holzscheibe befestige man eine starke Schnur, damit an ihr die Holzscheibe samt Elektroden über einer Welle gehoben und

gesenkt werden kann. Die Poldrähte führen durch die Röhre dss Trägers zu der darüber mit Sprungfeder gehaltenen Glühlampe. Das Elementengefäss wird von unten in seinen Cylinder geschoben, so dass ein Wechsel der Erregerflüssigkeit, (Chromsäurelösung) leicht möglich ist.

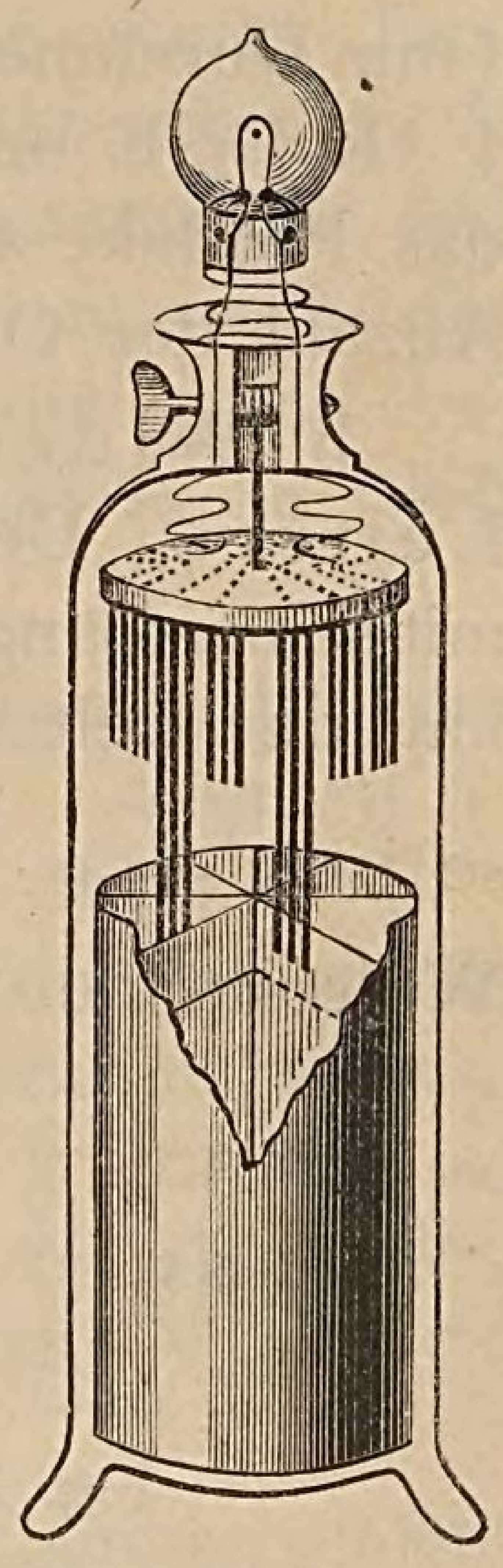


Fig. 130.

Die bezeichnete Elementenzahl mit Bichromatfüllung speist eine vierkerzige Lampe 6 bis 8 Stunden lang.

Die angegebene Einrichtung dürfte mit Accumulatorenspeisung empfehlenswerter sein. Man reicht mit 4 Fächern aus, ein Heben und Senken ist nicht erforderlich, dagegen ein Stromschlüssel. Ist die aufgesteckte Lampe sortiert, mit Ampère und Volt bezeichnet, so berechnet man darnach die Anzahl der Zellen (Fächer) und die Oberflächen der Bleiplatten.

Strom-Verteilung und -Berechnung für Beleuchtungsanlagen.

a. Ohm's Gesetz. $J = \frac{E}{R}$, d. h. die Stromstärke gleich der elektromotorischen Kraft, geteilt durch den Widerstand; oder auch $1 \text{ Amp.} = \frac{1 \text{ Volt}}{1 \text{ Ohm}}$.

1 Ohm ist der Widerstand einer Quecksilbersäule von 106,3 cm Länge und 1 mm^2 Querschnitt oder eines gewöhnlichen Kupferdrahtes von 48 m Länge und

1 mm Durchmesser. Aus der obigen Formel folgt auch: $J \cdot R = E$ oder 1 Amp. · 1 Ohm = 1 Volt, d. h. das Produkt aus der Anzahl der Ampère mal der Anzahl der Ohm ist gleich der EMK in Volt.

b. Widerstand und Dimensionen eines Leiters. Der Widerstand r eines Leiters wächst mit seiner Länge und nimmt ab mit seinem Querschnitt; hat der Leiter l m Länge und s mm² Querschnitt, so ist $r = \varrho \cdot \frac{l}{s}$; worin ϱ für Kupfer 0,0185. Siehe Widerstände.

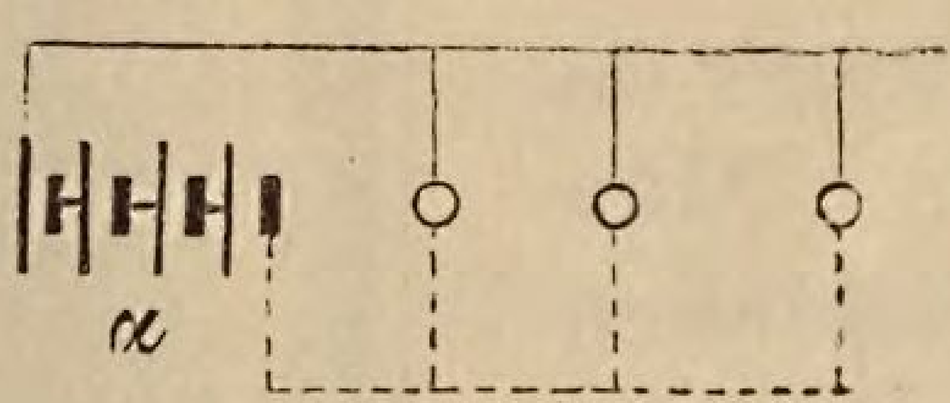


Fig. 131.

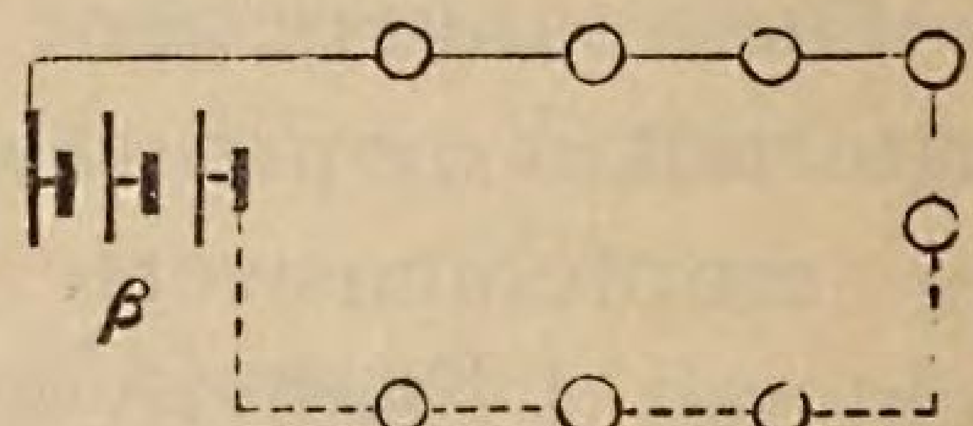


Fig. 132.

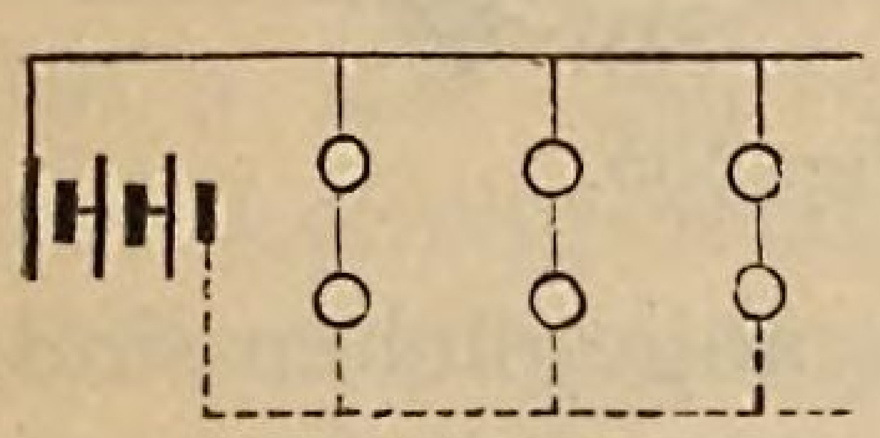
c. Die beiden Hauptarten der Lampenschaltungen (Fig. 131). Parallelschaltung: die Hauptleitung, positiv und negativ, durchzieht die ganze Anlage und entsendet Abzweigungen an den gewünschten Stellen. Die Lampen erhalten alle dieselbe Spannung, die Stromstärke wechselt.

Die Reihenschaltung. (Fig. 132.) Die Lampen werden in einfachem Stromkreise hintereinander verbunden; im ganzen Kreise herrscht dieselbe Stromstärke; man braucht verhältnismässig wenig Draht, erreicht aber keine Teilung der elektrischen Energie.

d. Berechnungen. Man habe 10 Lampen, jede bezeichnet mit einem Widerstand von 12 Ω und einer Stromstärke von 1,5 Amp., der Stromkreis (Leiter und Schlüssel) habe 1 Ω Widerstand.

In Parallelschaltung hat die ganze Einrichtung 2,2 Ω: denn jede Lampe hat zwar 12 Ω aber 10 Lampen haben in Nebenschaltung nur den zehnten Teil davon: also 1,2 Ω, wozu noch der Leitungswiderstand mit 1 Ω kommt; die ganze Anlage erfordert somit 2,2 · 15 (10 · 1,5) = 33 Volt und 15 Ampère.

Bei Reihenschaltung hat man so zu rechnen: [1 Ω (Leitung) + 120 Ω (12 · 10 für Lampen)] × 1,5 Amp. = 181 V. und 1,5 Amp.


Fig. 133.

(Fig. 133.) Ordnet man die Lampen in Zwischenschaltungen, 5 in Reihen und 2 parallel, so rechnet man: 7,5 Amp. (5 · 1,5) · 5,8 Ω ($\frac{24}{5}$ + 1) = 43,5 V. und 7,5 Amp.

Wir haben vorausgesetzt, dass alle Lampen gleichzeitig brennen; dem ist nicht immer so. Man kann bisweilen nur eine Lampe nötig haben. In diesem Falle rechnet man den Leitungswiderstand zu dem der brennenden Lampen und multipliziert die Summe mit der Ampère-Zahl einer Lampe; z. B. für eine Lampe: (12 Ω + 1 Ω) · 1,5 Amp. = 13 Ω · 1,5 Amp. = 19,5 Volt und 1,5 Amp. Vergl. Leitersysteme und Spannungsverlust.

e. Rheostaten oder Widerstandsrollen. (Fig. 134 und 135.) Verwendet man in einer Beleuchtungsanlage mit Batterien bald alle, bald nur einige Lampen und will man an der Elektricitätsquelle nicht jedesmal den Strom ändern, so oft man eine Lampe ein- oder ausschaltet; so lässt man einen Strom durch die Leitung fliessen, der im stande ist alle Lampen

zu speisen, schaltet aber zugleich mit jeder Lampe einen Rheostaten parallel, so dass ein Stromwender mit 2 Richtungen den Strom entweder in die Lampe oder in den Widerstand schickt.

Diese Rheostaten sind Rollen oder Spiralen aus Eisen- oder Neusilberdraht, die auf denselben Wider-

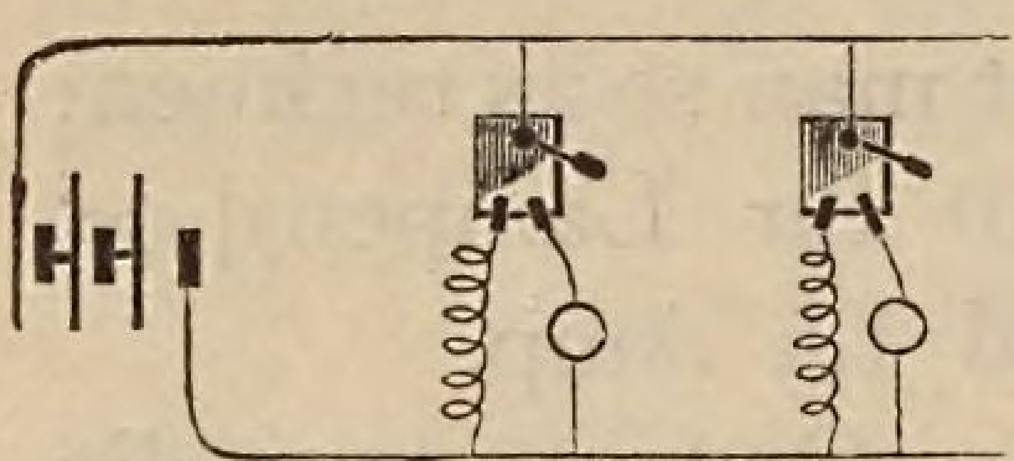


Fig. 134.

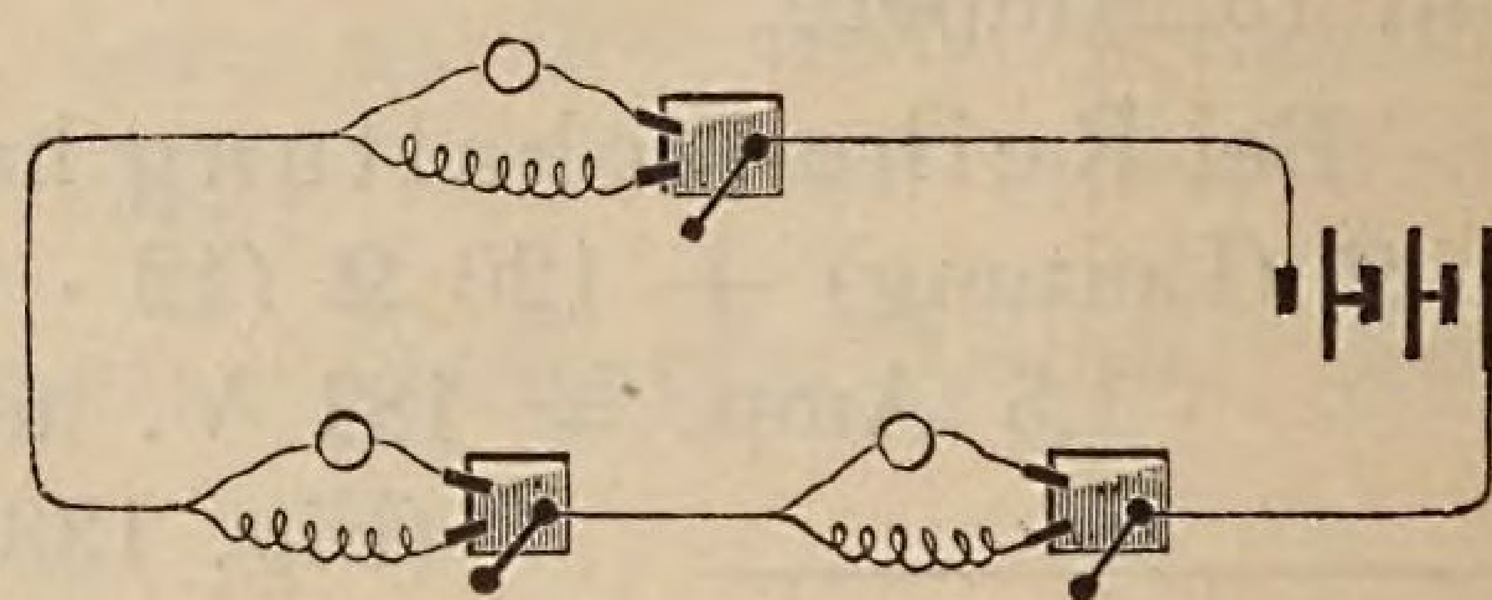


Fig. 135.

stand wie die zugehörigen Lampen abgeglichen sind. Der Draht muss dick genug sein, um nicht zu verbrennen und doch wieder fein genug, um nicht zu dicke und zu lange Rollen zu geben.

Diese Apparate verzehren zwar den Strom unnützer Weise, allein sie sind bei Beleuchtung mit Elementen und Accumulatoren notwendig; ohne ihre Verwendung wäre der Schaden an den Lampen infolge der wechselnden Stromstärke sehr bedeutend, ganz abgesehen von der Ungleichheit in der Beleuchtung.

f. Strom und Verteilung. Verfügt man über einen Strom von hoher Spannung und geringer Menge, hat man z. B. eine grosse Anzahl von Elementen mit kleiner Oberfläche, so ordnet man die Lampen in Reihen in demselben Kreis, der von der Quelle aus durch alle Lampen ohne Unterbrechung zum andern Pol der Quelle zurückkehrt (Fig. 132 und 135). Bei Reihenschaltung ist die Stromstärke

des Leitungsnetzes gleich der Stromstärke der einzelnen Lampe, die Spannung aber gleich der Summe der Spannungen aller Lampen. $I = i$; $E = e + e_1 + e_2$.

Verfügt man über eine Stromquelle von beträchtlicher Menge und niedriger Spannung, so montiert man die Lampen parallel, führt zwei dicke Drähte bis zur letzten Lampe und zweigt von ihnen dünnere Drähte zu den Lampen ab; alle positiven Pole der Lampen liegen auf der gleichen Seite, ebenso alle negativen. Man kann eine Lampe auslöschen, ohne dass die anderen aufhörten weiter zu brennen. Fig. 131 u. 134. Bei Parallelschaltung ist die Stromstärke des Leitungsnetzes gleich der Summe der Stromstärken aller Lampen, aber die Spannung des Netzes gleich der der einzelnen Lampe: $I = i + i_1 + i_2$; $E = e$.

Ist ein Beleuchtungsnetz ausgedehnt und bildet der Leitungswiderstand einen beträchtlichen Teil des Gesamtwiderstandes, so erhalten die der Stromquelle näheren Lampen mehr elektrische Energie als die ferneren (Fig. 136), da die Spannung längs einer Leitung abnimmt. Um nun Widerstand und Spannung für alle Punkte auszugleichen, führt man einen der Hauptdrähte rückwärts und schaltet die Lampen zwischen dem rückwärtsgelegten Draht und dem zweiten Poldraht parallel. Diese Schleife verteuert die Anlage und der Zweck wird besser erreicht durch Verstärkung des Querschnittes der Leitung.

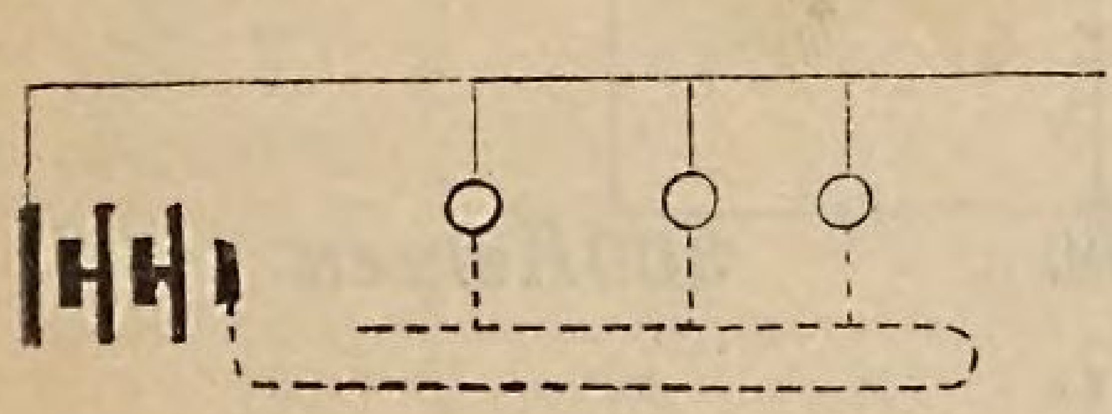


Fig. 136.

Bisweilen hat man in demselben Netze Lampen von verschiedenem Widerstand. In diesem Falle

verbindet man die kleineren in Reihen zu zwei, so dass sie denselben Widerstand wie eine grössere besitzen; ist dies nicht möglich, fügt man jeder kleineren Lampe so viel Widerstand bei, dass sie hierin einer grösseren gleich ist.

Dauer der Lampen; Leuchtkraft und Spannung.

In Theorie sollten die Lampen nur durch äussere Beschädigung ausser Dienst gesetzt werden; in Praxis brennen die besten 1000 bis 2000 Stunden; bei kleineren ist die Lebensdauer noch beschränkter. Nach einer gewissen Zeit verliert der Bügel seine Konsistenz, er braucht einen stärkeren Strom, damit er die gleiche Lichtstärke ausstrahle, endlich zerfällt er. Die Lebensdauer ist in sehr hohem Maasse von der Spannung abhängig; in welchem Zusammenhang beide stehen,

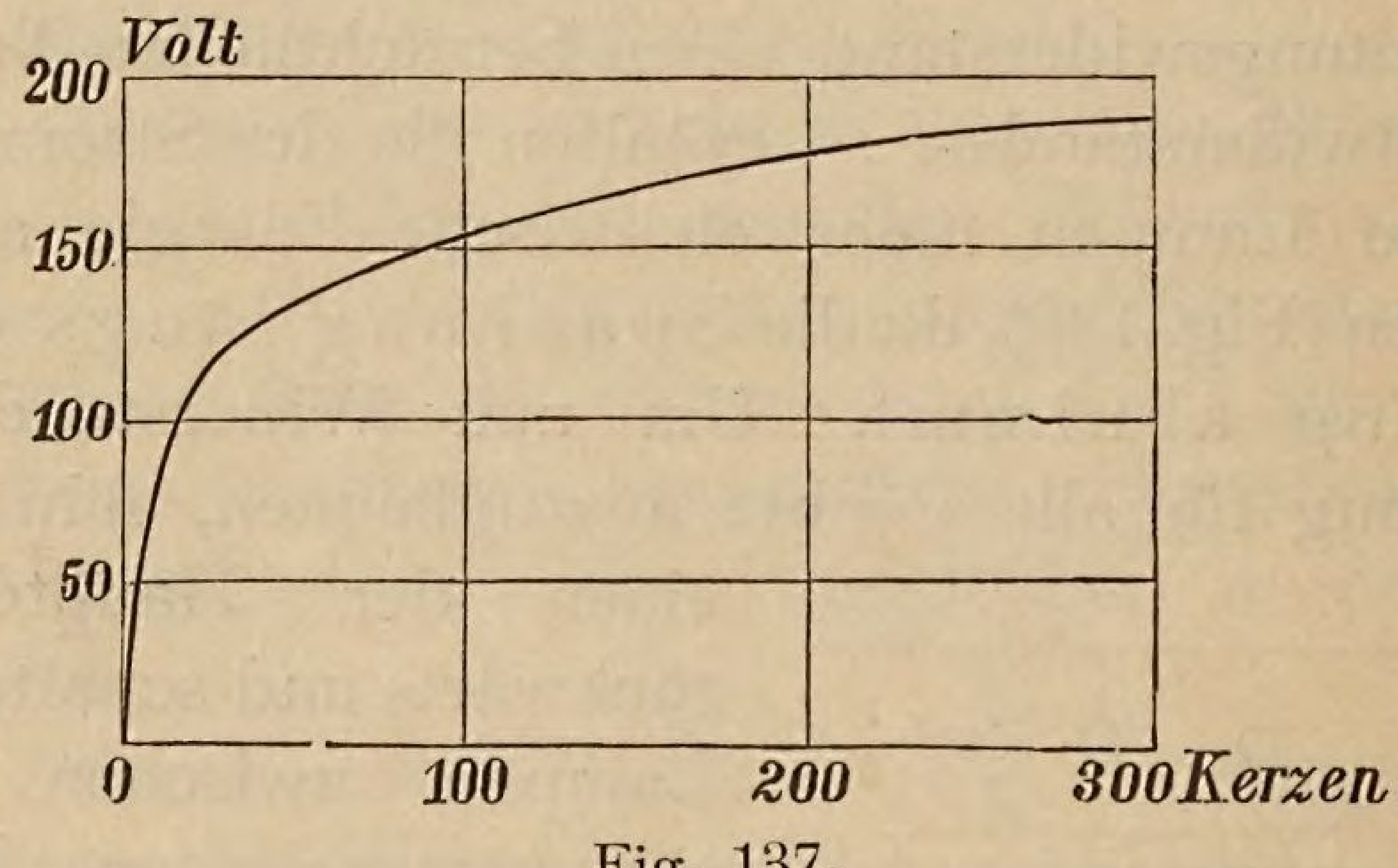


Fig. 137.

ist noch nicht mit Sicherheit festgestellt; gewiss ist, dass eine höhere als vorgeschriebene Spannung die Lebensdauer erheblich, z. B. bei 4 % Erhöhung auf $\frac{2}{3}$ herabsetzt. Um diese also zu bewahren, muss man einen normalen Strom einzuhalten suchen.

In wie hohem Maasse die Leuchtkraft der

Glühlampen von der Spannung abhängt, zeigt das Diagramm 137. Die an einer 10-kerzigen Glühlampe angestellten Messungen sind graphisch dargestellt. Aus der Kurve ist ersichtlich, dass die Zunahme der Leuchtkraft für 1 Volt stetig ansteigt.

Für Lampen von 10 Kerzen geht man gewöhnlich bis 110 und 120 Volt.

Preise der Glühlampen,

für Spannungen 50, 56, 65, 70, 75, 100, 110 und 120 Volt

bei Bestellung von 50 Stück zum Preise von 70 Pf. per Stück.
„ „ „ 100 „ „ „ „ 65 „ „ „
„ „ „ 250 „ „ „ „ 60 „ „ „

für Spannungen 60, 90, 95, 105, 115, 125 und 130 Volt

bei Bestellung von 50 Stück zum Preise von 65 Pf. per Stück.
„ „ „ 100 „ „ „ „ 60 „ „ „
„ „ „ 250 „ „ „ „ 55 „ „ „

I. Tabelle der vorkommenden Lichtstärken und Spannungen.

Lichtstärke N. K. (Normal-Kerzen)	Stromstärke in Ampère bei					Elektr. Arbeit Watt	Lampen auf 1 P. S. (Pferdestärke)
	Volt 100	Volt 110	Volt 65	Volt 150	Volt 50		
16	0,55	0,50	0,83	0,38	1,05	55	11,4
25	0,86	0,78	1,3	0,57	1,7	86	7,3
32	1,1	1,00	1,7	0,73	—	110	5,7
10	0,35	0,32	0,53	—	—	35	17,9
8	—	—	—	—	0,55	27,5	22,8
50	1,5	—	2,3	1,0	—	150	4,2
100	2,7	—	4,1	—	—	270	2,3

II. Tabelle über A. E. G. Glühlampen.

736 V.-A. = 1 PS.

Lichtstärke in Normalkerzen (Hefner-Lam.)	4	6	6	5	8	10	10	16	16	16
Spannung in Volt	20	35	15	100	50	65	100	50	65	100
Stromstärke in Amp.	0,70	0,57	1,04	0,20	0,5	0,48	0,33	1,00	0,77	0,5
Widerstand (heiss) in Ohm	29	61	14,4	500	100	135	303	50	84	200
Energie-Verbrauch in Volt-Amp.	14	20	15,6	20	25	31	33	50	50	50
Energie-Verbr. in Volt-Amp. pr. Normalkerze	3,5	3,3	2,6	4	3,1	3,1	3,3	3,1	3,1	3,1

Aufgaben: 1. Eine Glühlampe einer Beleuchtungsanlage erfordert J_2 Ampère Strom. Wie viele Elemente von E_1 Volt Spannung braucht man, um diese Lampe zum Glühen zu bringen?

Antwort: Man brauche n_1 Elemente von E_1 Spannung und R_1 innerem Widerstand und es seien n_2 Lampen mit je R_2 Ohm Widerstand parallel geschaltet, so erhält man für n_1 hintereinander geschaltete Elemente mit E_1 Volt die Gesamtspannung $n_1 E_1$ und den Widerstand $n_1 R_1$; der Widerstand der n_2 Lampen beträgt wegen Parallelschaltung

$\frac{R_2}{n_2}$ Ohm; daher $J_1 = \frac{n_1 E_1}{n_1 R_1 + \frac{R_2}{n_2}}$ Amp.

Jede Lampe erhält einen Strom =

$$J_2 = \frac{J_1}{n_2} = \frac{n_1 E_1}{n_1 n_2 R_1 + R_2} \text{ Amp.}$$

Daraus folgt: $n_1 = \frac{R_2}{\frac{E_1}{J_2} - n_2 R_1}$

Beispiel. Wie viele Chromsäure-Elemente ($R_1 = 0{,}4\ \Omega$, $E_1 = 1{,}6$ V) sind nötig, um die Lampe ($R_2 = 61\ \Omega$, $J_2 = 0{,}57$ Amp.) zum Glühen zu bringen?

$$n_1 = \frac{61}{\frac{1{,}6}{0{,}57} - 1 \cdot 0{,}4} = 25{,}4; \text{ also 26 Elemente.}$$

2. Eine Glühlampe hat 150 Ω Widerstand; wie gross ist der Widerstand 10 solcher parallel geschalteter Lampen?

Antw.: 150 : 10 = 15 Ohm.

3. Eine Glühlampe erfordert 100 V. u. 0,2 Amp.; wie gross ist ihr Widerstand?

Antw.: $R = \frac{E}{J} = \frac{100}{0{,}2} = 500\ \Omega$ (Tab. II.)

4. Man will 3 vierkerzige Glühlampen von je 20 V. Spannung speisen; welche Stromstärke verlangen sie?

Antw.: Die Kerze verlangt 3,5 Volt-Ampère, also die einzelne Lampe 4 · 3,5 = 14 V-A und 3 Lampen 3 · 14 = 42 V-A; 42 : 20 = 2,1 Amp. und die einzelne Lampe 2,1 : 3 = 0,7 Amp.

Wohnungsanlagen.

a. Lampen. Zur Beleuchtung von Zimmern genügen Lampen von 6 Kerzen und solche von 10

Kerzen strahlen reichliches Licht aus. Eine 6kerzige Lampe verlangt einen Strom von 10 V und 2 Amp., d. h. 6 Bichromat-Elemente mittlerer Grösse oder 5 Accumulatorenzellen von kleiner Oberfläche. Für 10kerzige Lampen reichen 15 V und 2 Amp. aus oder 10 Elemente oder 8 Accumulatorenzellen. Mit der wachsenden Zahl der Lampen wird die Ausgabe für die einzelne im Verhältnis geringer. Bei Parallelschaltung ist für mehrere Lampen dieselbe Anzahl Elemente nötig wie für die einzelne; man hat nur deren Oberflächen zu vergrössern.

Die günstigste Stellung einer Lampe ist eine Höhe von 0,7 des Halbmessers des zu beleuchtenden Bodenkreises. Durch Anbringung von weissen Schirmen über den Lampen wird die Helligkeit vermehrt. Bei Beleuchtung von kleinen Arbeitsplätzen nimmt man konische (kegelförmige) Schirme, bei Beleuchtung grosser Räume wählt man nahezu flache Schirme, wobei die Lichtquelle dem Schirme möglichst nahe sein soll.

b. Stromleiter, Stromwender, Widerstände. Mag die Elektricitätsquelle, Elemente oder Accumulatoren, stehen, wo sie eben untergebracht werden kann, am besten in einem gleichmässig warmen Raume; es müssen von ihren zwei Polen Leiter durch alle Zimmer gehen, die erleuchtet werden sollen. Diese Drähte sind von einander isoliert und von solchem Querschnitt, dass sie dem Strom keinen erheblichen Widerstand leisten, nicht höher als 5 % des Gesamtwiderstandes der Anlage. Ihre Dicke muss sich mit der Stromstärke ändern; für eine einzelne Lampe reicht ein Durchmesser von 1 mm bis

20 m Länge aus; bei grösserer Ausdehnung hat man 1,5 mm Durchmesser, von 40 m an 5 mm zu verwenden. Bei einer Stromstärke bis 8 und 10 Amp. sind mindestens 2 mm Durchmesser zu nehmen.

Man führt diese Drähte längs der Wände, unter den Tapeten u. s. w. verdeckt. Zu jeder Lampe zweigt man in dem zugehörigen Zimmer dünnere Drähte von 0,8 mm Dicke ab und schaltet einen Schlüssel zum Anzünden und Auslöschen ein.

In einem Saal mit zwei Ausgängen wird man zwei Schlüssel anbringen, um von jeder Seite den Strom schliessen und öffnen zu können (Fig. 138).

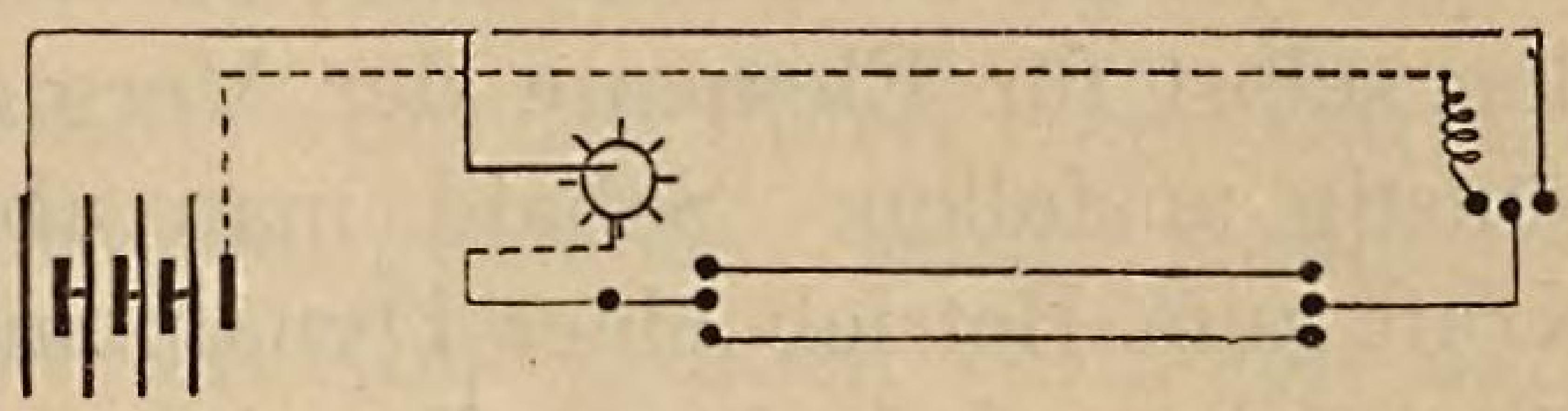


Fig. 138.

Zur Befestigung der Drähte an den Wänden bedient man sich verschiedener eiserner Haken (Fig. 139).

Damit durch die Berührung mit diesen Stiften keine Stromverluste eintreten, umgiebt man die Leitungsdrähte an den Berührungsstellen mit Papier oder aufgeschnittenen Kautschukröhrchen.

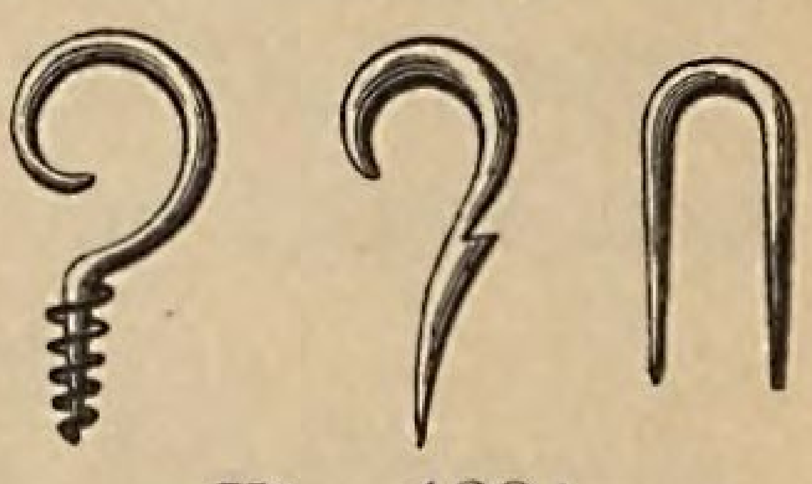


Fig. 139.

Kosten der Glühbeleuchtung mit Elementen und Accumulatoren.

Wir haben hier nur von Anlagen mit einigen Lampen zu reden, wie sie mit Elementen und Accumulatoren noch möglich sind. Eine 6 bis 7 kerzige Glühlampe, von einer Bichromat-Batterie mit 2 Flüssigkeiten gespeist, kostet in der Stunde 9 ₰; die gleich-

helle Gasflamme 4 δ und eine Ölflamme 3 δ. Mit Accumulatoren wird die Ausgabe noch höher, da sie die in ihnen aufgespeicherte Energie nicht vollständig wieder abgeben. Hierzu kommt noch die Abnutzung der Lampen, so dass eine solche Beleuchtung zweimal so teuer wäre als mit Gas.

Zieht man jedoch in Betracht, dass man zugleich Läutwerke, Anzünder, Motoren, Telephone, allerlei Schutzapparate mit einrichten kann und dass keine Explosion zu befürchten ist; so wird unter Umständen selbst für Elemente der Vergleich weniger ungünstig ausfallen. Sobald man aber eine wohlfeile Kraft zum Betrieb einer Dynamomaschine zur Verfügung hat, bekommt die elektrische Beleuchtung ein anderes Aussehen.

Kapitel VI.

Bogenbeleuchtung.

Der Lichtbogen

entsteht, wenn man die von den Polen einer starken galvanischen Batterie ausgehenden beiden Leitungsdrähte mit zugespitzten Kohlenstäben verbindet und letztere, durch den Durchgang des Stromes an der Berührungsstelle in's Glühen gebracht, ein wenig von einander entfernt. Man nennt diejenige Kohle, die mit dem positiven Pole der Batterie in Verbindung steht, die positive und demgemäss die andere die negative Kohle. Eine Batterie von 50 Daniell-Elementen erzeugt einen Bogen von 2 mm Länge und 1000 Normalkerzen. H. Davy 1810.

Dieses blendende Licht, welches der Flammenbogen ausstrahlt, gestattet dem unbewaffneten Auge den direkten Anblick nicht; es empfiehlt sich daher von den glühenden Kohlen vermittelst einer mässig vergrössernden Linse ein vergrössertes Bild auf einem weissen Schirme darzustellen. Der Beobachtungsraum muss nahezu dunkel sein.

Unter gleichen Stromverhältnissen entsteht zwischen Platinspitzen ein schwacher, zwischen Zinkelektroden ein starker und zwischen Quecksilberelektroden ein noch stärkerer Funken.

Das intensivste Licht wird von den weissglühenden Kohlen ausgestrahlt, die positive Kohle verdampft bei 3500 bis 3600°, verliert ihre Spitze und stumpft sich zu einer kraterförmigen Höhlung ab (Fig. 139a), die negative wird bei 2400° zu einem rundlichen hutförmigen Schildchen geformt, zwischen beiden werden nach allen Richtungen kleine glühende Teilchen geschleudert. Wenn die Kohle nicht sehr rein ist, sieht man kleine Kügelchen g, g[1] auf ihrer Oberfläche hin- und herlaufen; es sind Kügelchen von schmelzender Kieselerde. In der Hitze des Flammenbogens verbrennen die Kohlenstäubchen in der freien Luft ziemlich schnell und der Abstand ihrer Spitzen vermindert sich, bis schliesslich der Lichtbogen erlischt, wofern nicht im Grade des Abbrennens durch Mechanismen eine Annäherung bewirkt wird. — Die positive Kohle strahlt etwa 85%, die negative Kohle 10% und der Lichtbogen selbst 5% der gesamten Lichtmenge aus, der Hauptanteil fällt also der positiven Kohle zu.

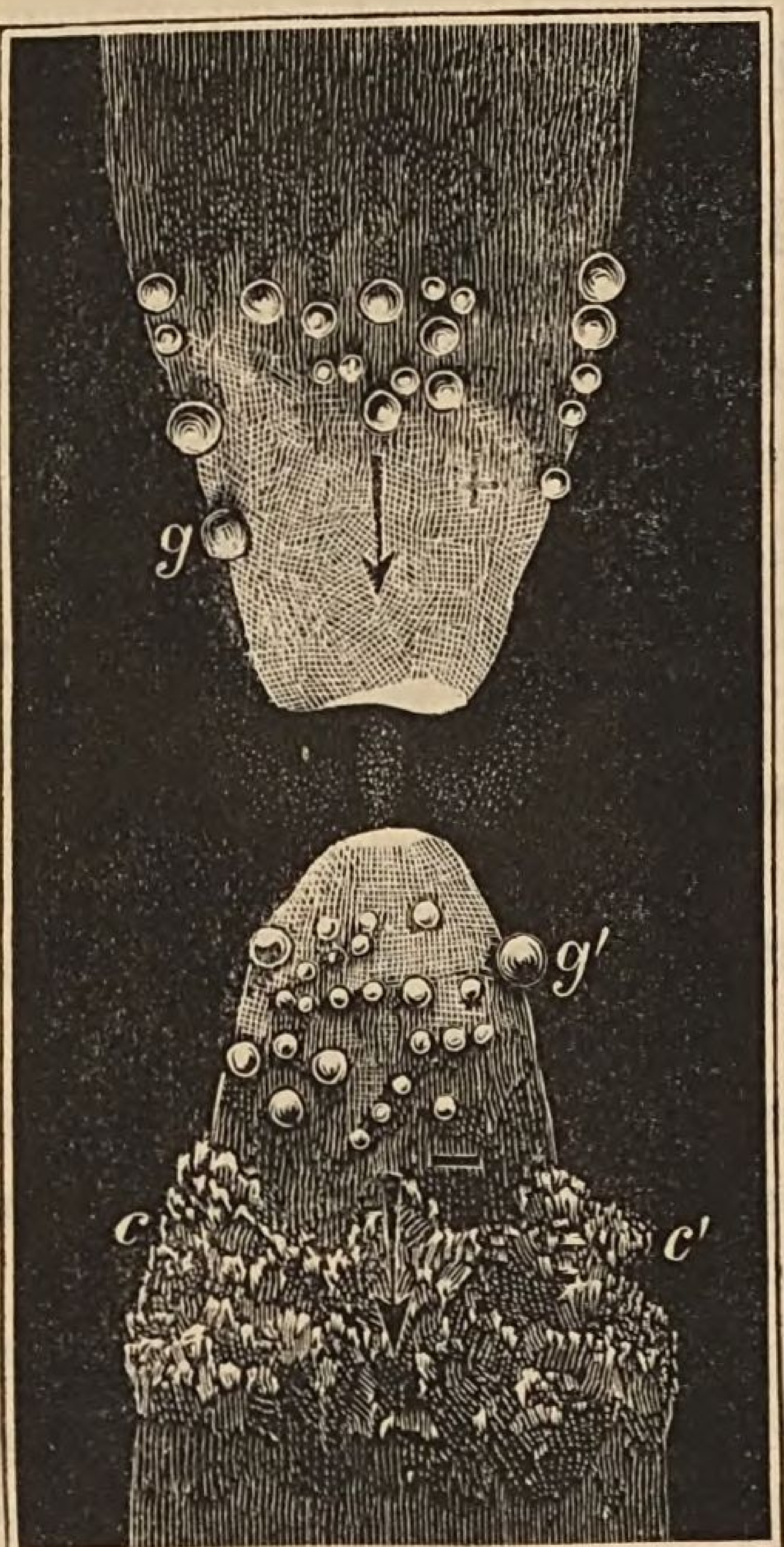


Fig. 139a.

Der Widerstand des Lichtbogens ist nach dem Ohm'schen Gesetze

$$= \frac{\text{Spannung an den Kohlenspitzen}}{\text{Stromstärke in der Lampe}}.$$

Licht-Einheiten.

Normalkerzen	Flammenhöhe in mm	Lichtstärke der Münchener Kerze = 1.	Bemerkungen
Münchener Stearinkerze	52	1,0	10,4 g in 1 Stunde.
Deutsche Paraffinkerze .	50	0,96	12 Stück = 1 Kg.
Engl. Walratkerze	44.5	0,94	7,77 g in 1 Stunde.
Franz. Carcellampe . . .	40	7,6	42 g Colzaöl.
Amylacetatlampe	43	0.94	8 mm Dochtröhre

Die Kohlen.

Die Kohlenstifte für Bogenlampen sind, wie die Platten für galvanische Elemente (S. 31) und die Bügel für Glühlampen, Fabrikationsartikel. Die dünnen Stifte geben mehr Licht als die dicken, werden aber sehr schnell verzehrt. Man hat daher eine gewisse Mitte einzuhalten und die Dicke der Stäbe mit der Stärke des Stroms ins Verhältnis zu setzen. 100 Volt-Ampère (Watt) verzehren in der Stunde 2 g Kohle.

Folgende Tabelle zeigt die mittleren Werte, die nach den Erfahrungen zu beachten sind:

Kohle, Durchmesser in mm	2	4	5	7	9	11	12	13
Stromstärke in Amp.	2—3	3—4	5—6	7—9	10—11	11—12	13—15	15—20

Um den Kohlen eine längere Dauer zu

sichern, hat man sie bisweilen auf elektrischem Wege mit Nickel oder Kupfer überzogen. Solch behandelte Stäbe geben zwar ein stetigeres Licht, beeinflussen aber die Farbe desselben. Ein anderes Mittel, dem Bogenlicht grössere Stetigkeit zu verleihen, besteht darin, dass man der positiven Kohle eine Seele giebt, d. h. sie der Länge nach mit einer leichten, sehr brennbaren Kohle füllt, Dochtkohlen; der Krater der Dochtkohlen wirft den Lichtstrahl abwärts (Fig. 143).

Siemens & Halske verwenden für Gleichstrom folgende Maasse:

Stromstärke in Amp.	3	4,5	6	9	12	15	20	35
Dochtkohle, Durchm. in mm	11	13	16	18	20	20	22	25
Homogene Kohle Durchm. in mm	6	7	9	11	12	12	13	18

Brenndauer in Stunden	10	14	16	18
Länge in cm	20	25	29	32,5
Länge des Lichtbogens in mm	1 bis 2	2 bis 3	4 bis 5	
Stromstärke in Amp.	6 bis 8	8 bis 10	10 bis 20.	

Gute Kohlen brennen gleichmässig ab, geben wenig Asche, werden vom Stahlmesser nicht geritzt und geben einen Metallklang.

Die Halbglühlampe von Werdermann.

a. (Fig. 140.) An die negative, kreisrunde, etwa 4 cm breite und 2 cm dicke Kohlenscheibe A wird das dünne, 1—3 mm dicke positive Kohlen-

stäbchen B in senkrechter Richtung von unten her angedrückt. Die Scheibe A ist von einem Kupfer- oder Messingring eingefasst und durch einen Arm E an dem von der Lampe gut isolierten Träger D gehalten. Der Halter und Führer C hat einen beweglichen Backen B, der durch eine Regulierfeder beständig gegen das Kohlenstäbchen gedrückt wird. Das Kohlenstäbchen steckt in einer Röhre, die unter Einwirkung eines Gewichtes P mit Hilfe zweier über feste Röllchen laufender Schnüre in die Höhe gehoben und mit seiner oberen Spitze unter mässigem Drucke gegen die Kohlenscheibe gepresst wird.

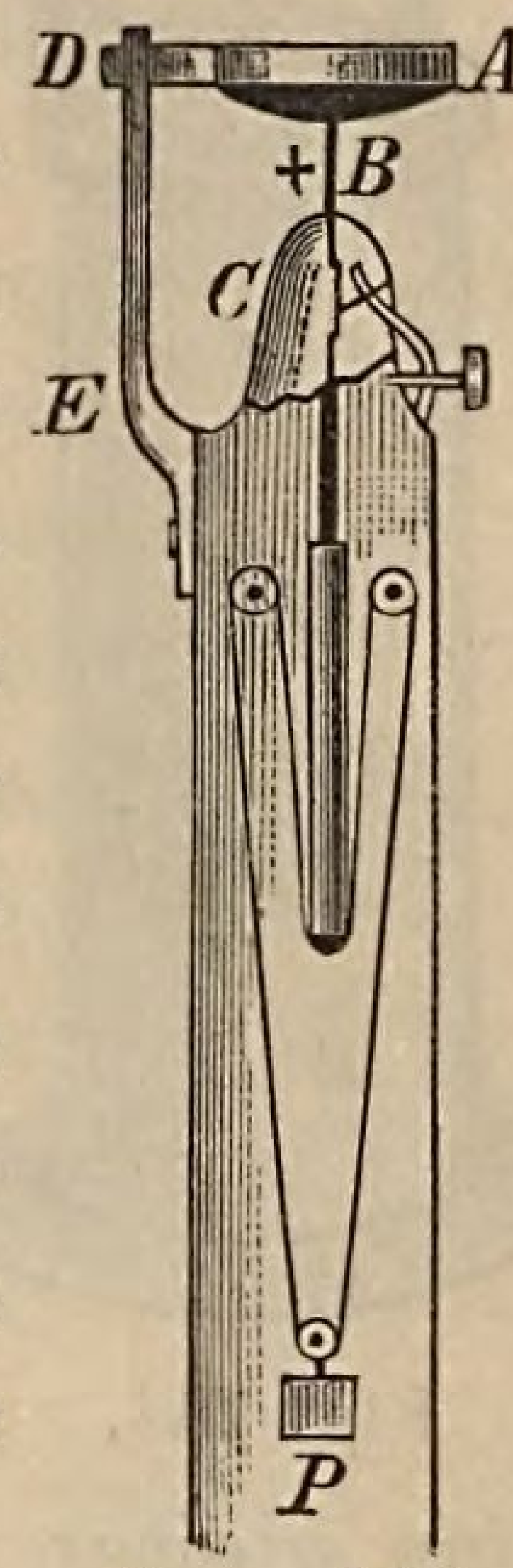


Fig. 140.

b. Eine Abänderung. Das Gewicht P lässt sich durch den Auftrieb des Wassers ersetzen. In einer Röhre von Messing oder vernickeltem Zink von 30 cm Höhe und $2^1/_2$ cm Durchmesser wird ein gerader Messingdraht und der darüber eingesteckte dünne Kohlenstab durch zwei die Röhre nahezu ausfüllende Korke, die zur Regulierung des Auftriebes mit Gewichten belastet werden, durch ein Röhrchen des abnehmbaren Deckels in der Mitte senkrecht gehalten und aufwärts getrieben. Auf dem Deckel ist die positive Polklemme aufgelötet und ihr diametral gegenüber ein Holzstab oder Hartgummicylinder von 3 bis 4 cm Länge aufgeschraubt. (Fig. 141.) In diesen ist oben ein Messing- oder Kupferdraht eingeschraubt, der die negative Pol-

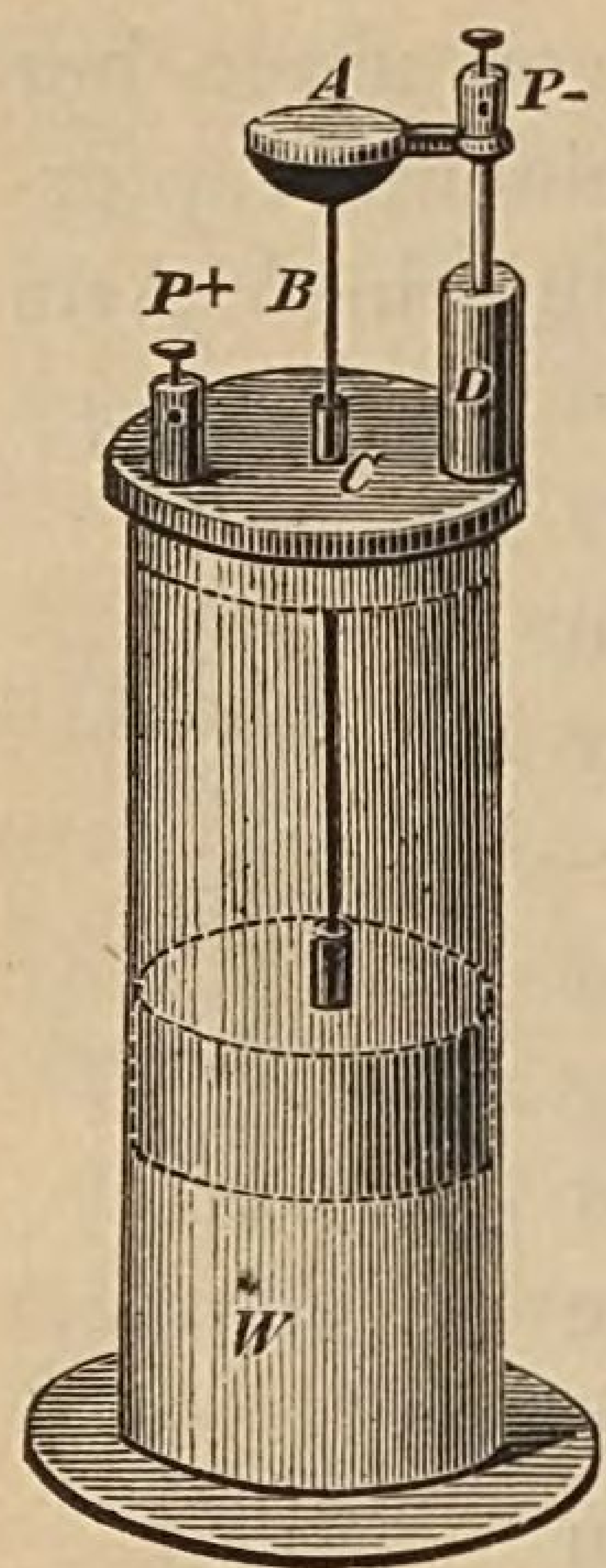
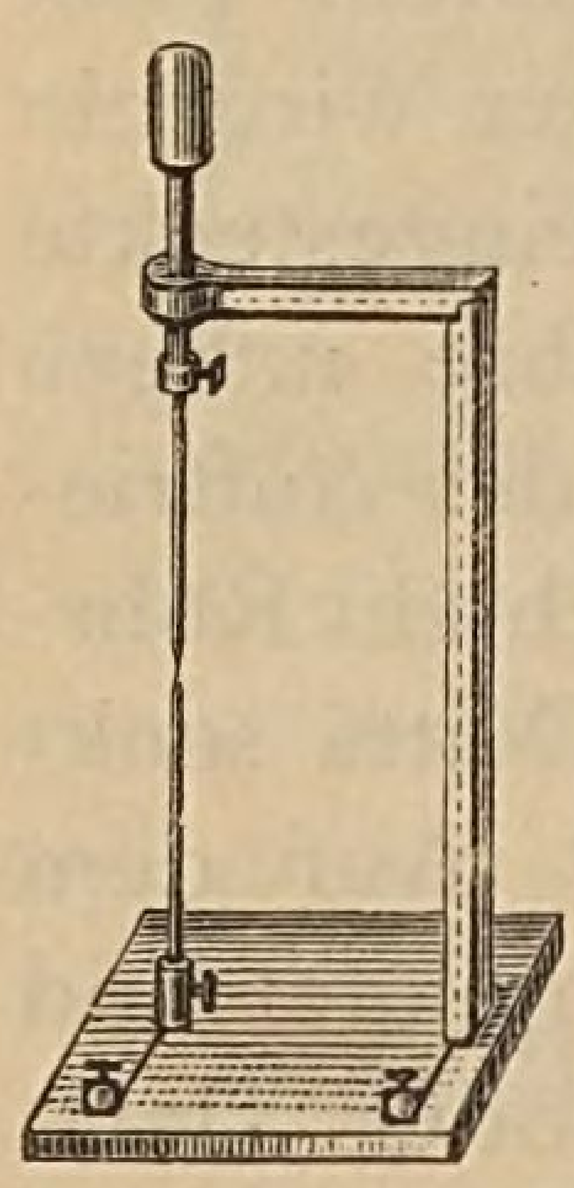


Fig. 141.

klemme und die zugehörige Kohlenscheibe trägt. Diese Scheibe kann man central mit Reibung durch einen Draht stecken, so dass sie um ihre Achse drehbar wird. Diese Lampe eignet sich zu Experimenten und zur Selbstanfertigung.

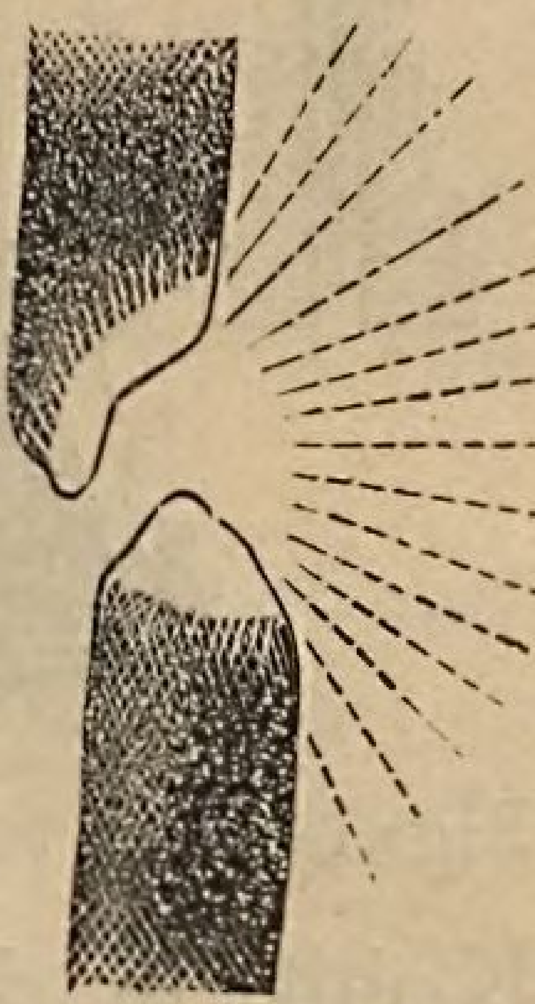
Ein Handregulator. (Fig. 142.) Bei Versuchen von kurzer Dauer kann man die Annäherung der Kohlen von Hand versehen. Ein Grundbrett von ungefähr 20 cm Länge und Breite trägt eine Säule von Holz oder Metall von etwa 30 cm Höhe. Durch die Bohrung des Querarms gleitet mit mässiger Reibung ein Metallrohr, das unterseits einen Kohlenstab und oberseits einen Handgriff aus Holz (oder ein Stück einer aufgesiegelten Glasröhre) trägt und in leitender Verbindung mit einer Polklemme steht. Senkrecht unter diesem Kohlenstift ist ein zweiter in eine kurze Metallbüchse gesteckt, die mit der andern Polklemme durch einen Kupferstreifen verbunden ist.


Fig. 142.

Man bringt die Kohlen zur Berührung, sendet einen starken Strom hindurch und entfernt sie ein wenig. Will man einen Bogen von einiger Wirkung, so ist eine EMK von etwa 44 Volt oder von 20 bis 25 Bunsen-Elementen erforderlich. Je grösser die Oberflächen der Elektroden oder je grösser die Anzahl der Ampère ist, desto glänzender

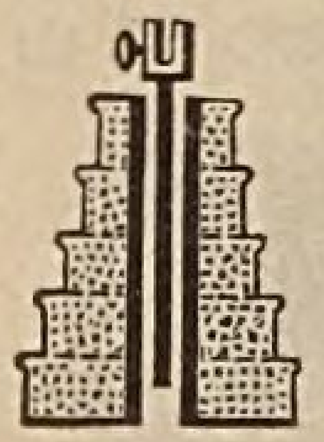
wird der Bogen; jedenfalls ist die angegebene Spannung unerlässlich, unterhalb 40 V Spannung zischt der Bogen. In der Regel wird der Bogen vermittelst elektrischer Maschinen (Dynamomaschinen) gebildet.

Gewöhnlich stellt man die Kohlen genau senkrecht über einander; bisweilen wünscht man aber den Lichtstrahl nur nach einer Seite zu lenken, dann rückt man die positive Kohle so auf die Seite, dass die Aushöhlung als Hohlspiegel wirkt. (Fig. 143.) In der sogenannten „umgekehrten Bogenlampe“ wirft die positive, untere Kohle ihr Licht an die Zimmerdecke.


Fig. 143.

Regulator d' Archereau (1848). Sollen die Kohlen die richtige, von der Stromstärke abhängige Entfernung innehalten, so muss dies die Lampe selbst, ohne Zuthun der menschlichen Hand, vermittelst des Stromes ausführen. Die zu diesem Zwecke konstruierten Apparate sind aber von solch komplizierter Einrichtung, dass wir uns auf die genauere Beschreiung der einfachsten, wenn auch unvollkommenen, beschränken werden.

Der Regulator Fig. 144 und 144a ist leicht zu konstruieren, giebt für Versuche und kurz dauernde Beleuchtung gute Resultate; ist aber für die Industrie nicht zu gebrauchen. Auf einem Grundbrett ist ein Träger mit Querarm und an diesem mittels einer Metallhülse die eine Kohle befestigt. Um einen cylindrischen Eisenstab von 15 cm Länge und 1 cm Durchmesser ist eine Hülse für die andere Kohle



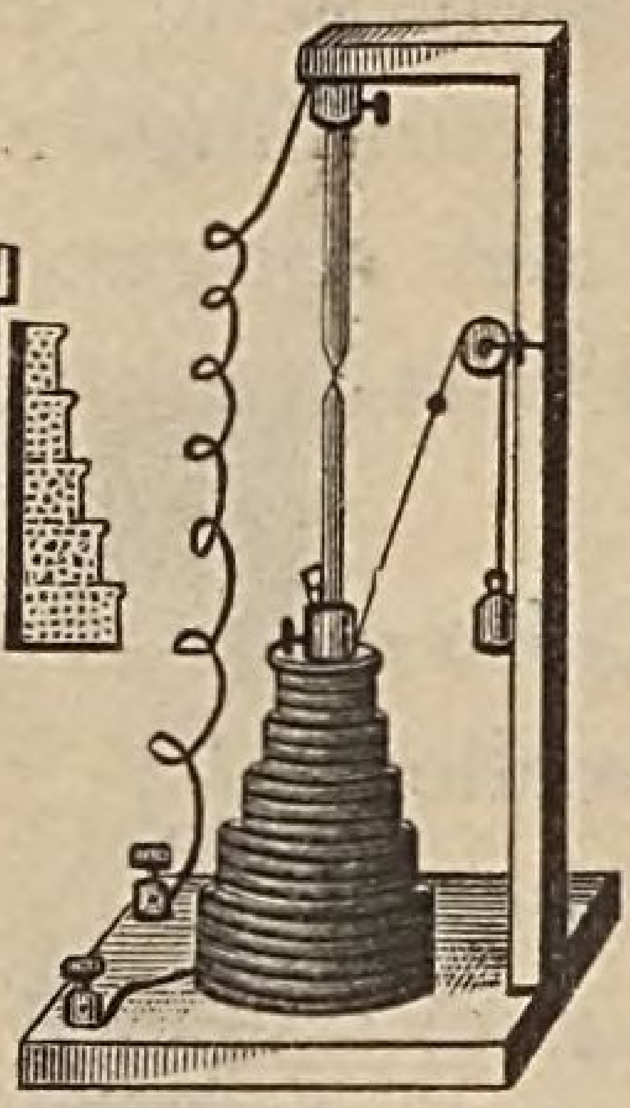


Fig. 144a. Fig. 144.

geschoben. Auf einer Papierrolle von 15 cm Länge und solcher Weite, dass der Eisenstab mit schwacher Reibung darin gleitet, sind ungefähr 20 m umsponnenen Kupferdrahtes von 1,5—2mm Dicke staffelweise gewunden; das eine Ende des Drahtes ist zu einer Polklemme im Grundbrett geführt, das andere Ende zu der unteren Kohle in der Weise, dass eine kupferne Feder an ihr gleitet. Die andere Polklemme steht mit der oberen Kohle in Verbindung. Von der Hülse der unteren Kohle ist eine Schnur über eine Rolle zu einem Schälchen mit Gegengewicht gezogen, das die Kohle hebt, wenn kein Strom durch die Drahtrolle fliesst. Sobald der Strom durch die Rolle fliesst, zieht diese den Eisenstab in sich hinein und entfernt die Kohle. Damit dies der Apparat im Verhältnis der Stromstärke ausführe, muss die Grösse des Gegengewichts durch Versuche ermittelt werden.

Der schwingende Regulator. (Fig. 145.) Ein Messingstab, in dessen Hülse die obere Kohle gesteckt ist, gleitet in der senkrechten Bohrung des Querarms, die andere Kohle sitzt in einer Hülse, die auf ein Eisenstück (Anker) gelötet ist. Dieser Anker schwingt mittels einer Uhrstahlfeder, die am Träger angeschraubt und mit dem einen Ende der Kupferdrahtrolle verbunden ist, über dem 5 cm langen und 1 cm dicken Eisendrahtbündel einer Drahtrolle, die aus 5 bis 6 m eines übersponnenen Kupfer-

drahtes von 1,5—2 mm Dicke gewunden ist. Sobald der Strom durch die Spirale und die Kohlen fliesst, zieht der Eisenkern seinen Anker herbei, die Kohlen entfernen sich, der Strom wird schwächer, der Anker durch seine Feder emporgeschnellt, die untere Kohle steigt, um nach Berührung mit der oberen wieder abwärts zu schwingen.

Diese wechselnden Zündungen und Löschungen des Stromes folgen so schnell aufeinander, dass der Bogen dauernd scheint, denn die Kohlen haben bei diesen raschen Schwingungen keine Zeit zu erkalten. Diese Raschheit der Bewegung bewirkt auch, dass die obere langsam herabgleitende Kohle niemals auf die untere zu ruhen kommt.

Dieser Regulator funktioniert regelmässig, aber sein Licht zittert ein wenig, die Kohlen werden schnell verzehrt, glühende Fünkchen sprühen umher und, in grösserem Maassstabe ausgeführt, würde er ein lästiges Geräusch verursachen.

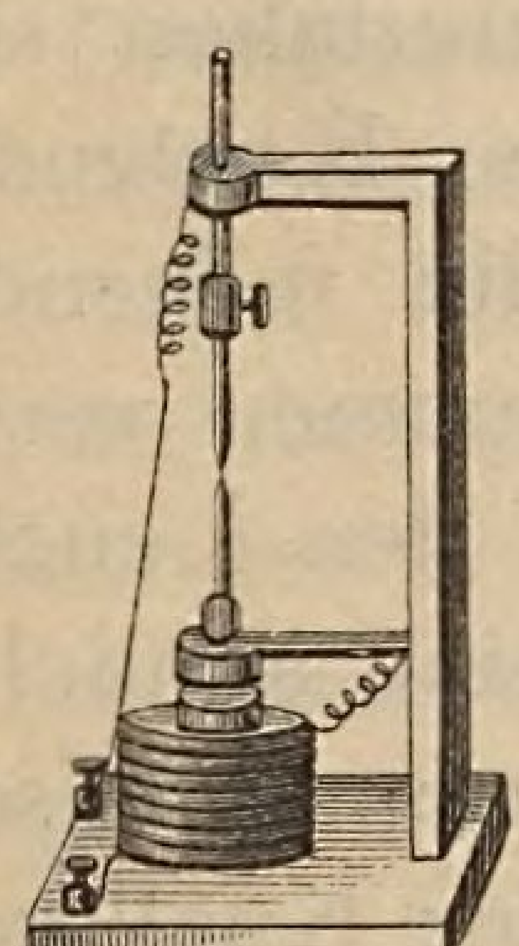


Fig. 145.

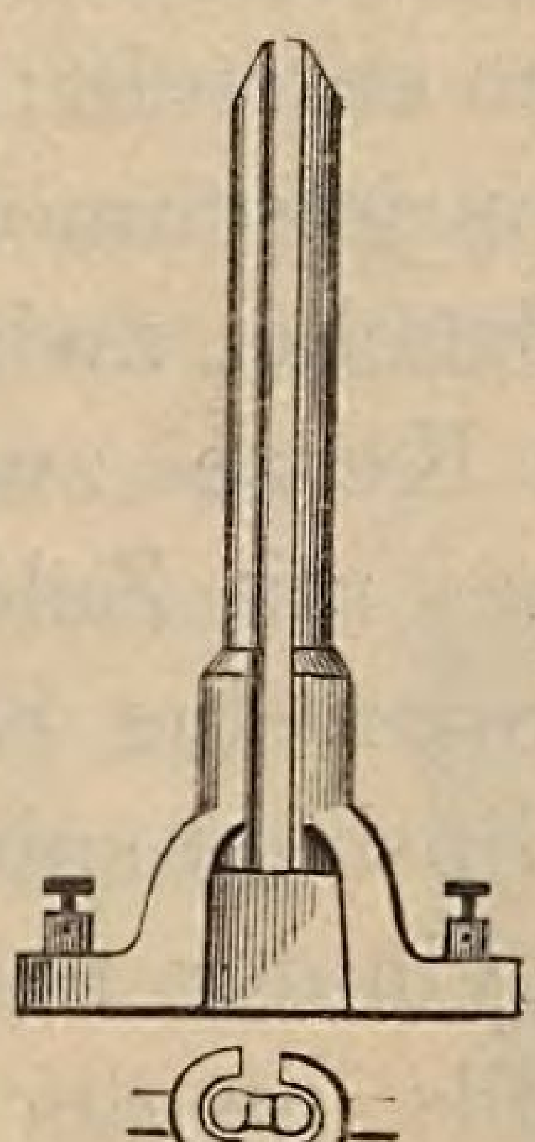


Fig 146.

Kerze Jablochkoff. 1876. (Fig. 146.) Nichts einfacher als der Gedanke, die Kohlen parallel zu stellen, damit fällt jeder Regulierungs-Mechanismus

hinweg; und die Lichtteilung ist ermöglicht; und wie einfach die Anfertigung! Man legt zwei Kohlenstäbe von 3 bis 4 mm Dicke auf eine ebene Platte und füllt den engen Zwischenraum mit Gips aus. Der elektrische Strom tritt zu dem einen Stäbchen herein und zum andern heraus, wobei die Spitze da, wo der Strom von einer Kohle zur andern übergeht, bald weissglühend wird. Die nicht leitende Zwischensubstanz schmilzt in der Hitze des kleinen Lichtbogens und geht in Dampf über, die Kohlenstäbchen werden so nach und nach frei und verbrennen langsam in dem Maasse, als die isolierende Masse verdampft. Der ganze Prozess geht langsam und ruhig vor sich, wie das Abbrennen einer Wachskerze.

Um das Entzünden einzuleiten, sind die oberen Enden mittels eines ganz kleinen, durch ein schmales Papierstreifchen festgehaltenen Graphitplättchens verbunden. Sobald der Strom zugeführt wird, geht er durch dieses dünne Plättchen, macht es glühend, der Lichtbogen entsteht; der Dampf des Isolierungsmittels und dessen geschmolzene Materialien sind eine gut leitende Brücke zwischen den Kohlenstiften. Man steckt die Kerze zwischen die federnden Kupferhülsen eines mit Zuleitungsklemmen versehenen Stativs, wie man eine Kerze auf den Leuchter stellt.

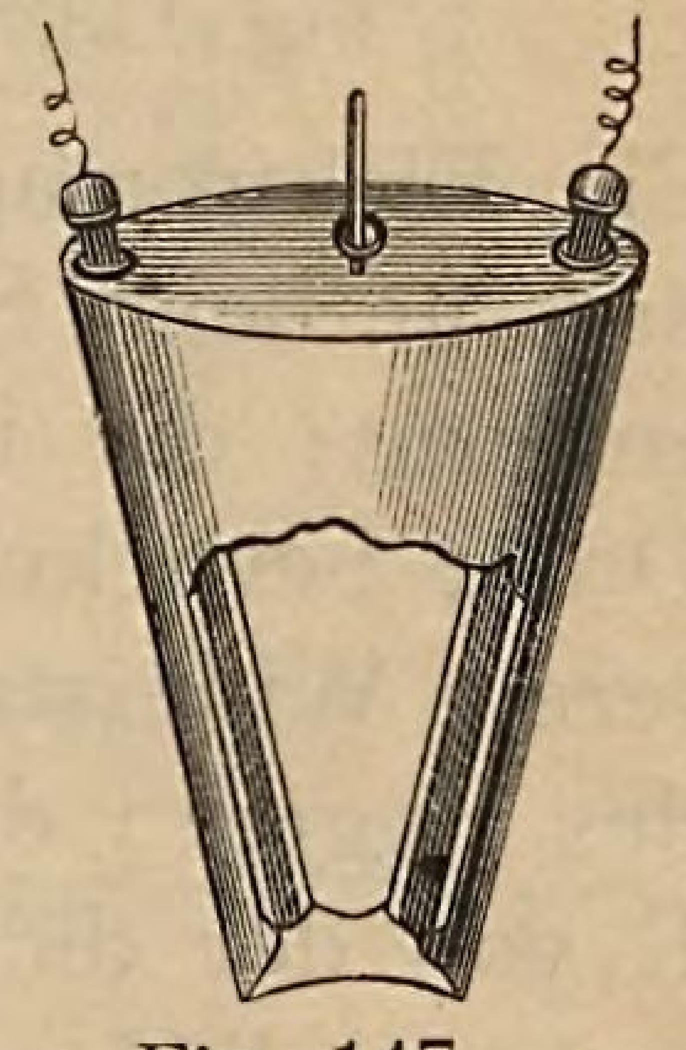
Die Gipslage spielt hier eine ähnliche Rolle wie der Kalkcylinder bei dem Drummond'schen Lichte, wo ebenfalls in der Hitze der Knallgasflamme die Kalkteilchen in fein verteiltem Zustande weissglühend werden.

Damit die Kerzen gleichmässig abbrennen, müssen die Kohlen bei Anwendung von Wechselströmen

(Siehe Stromkurven und magnetelektrische Maschinen) gleiche Dimensionen haben, bei Anwendung von Gleichströmen (wie bei Elementen) muss das mit dem positiven Batteriepole in Verbindung stehende Stäbchen einen doppelt so grossen Querschnitt erhalten als das andere. Dennoch erfolgt das Abbrennen nicht so regelmässig wie bei Wechselströmen. Die Stäbchen haben meist eine Länge von 200 mm bei 4 mm Durchmesser und eine mittlere Brenndauer von $1\frac{1}{2}$ Stunden.

Die Sonnenlampe von Rapieff (Fig. 147) genoss bei ihrer Erfindung grosses Ansehen, ist aber rasch verlassen worden. Ihre Konstruktion ist höchst einfach, ihr Licht vollkommen stetig und infolge einer rötlichen Färbung den Augen angenehmer als das bläuliche des Bogens allein. Man kann sie mit dem Drummond'schen Kalklichte vergleichen; wie dieses wirft sie ihre Strahlen nur nach einer Richtung.

Man giebt einem Marmorblock die Gestalt eines abgestumpften Kegels (behaut ihn roh und rundet ihn auf der Drehbank) von 10 cm Höhe und 5 cm und 3 cm Durchmesser an den Grundflächen, bohrt parallel mit zwei Mantellinien auf demselben Durchmesser zwei Löcher von der Weite der Kohlenstäbe und dreht von der kleineren Grundfläche eine Halbkugel so aus, dass die daselbst mündenden Bohrlöcher noch 2 bis 3 mm von einander abstehen und noch einen Ansatz haben, auf dem die Kohlen aufstehen. Die in diese Bohrungen gestellten Kohlenstäbe rücken durch


Fig. 147.

ihr eigenes Gewicht in dem Maasse nach, als sie abbrennen. Um den Flammenbogen einzuleiten, wird, wie bei Jablochkoff, ein Kohlen- oder Graphitstückchen in die Höhlung des Blockes eingeklemmt. Die bis jetzt beschriebenen Lampen eignen sich nur für den Einzelbetrieb, sie sind Hauptschlusslampen, die auf gleichbleibende Stromstärke regulieren.

Nebenschluss- und Differential-Lampen.

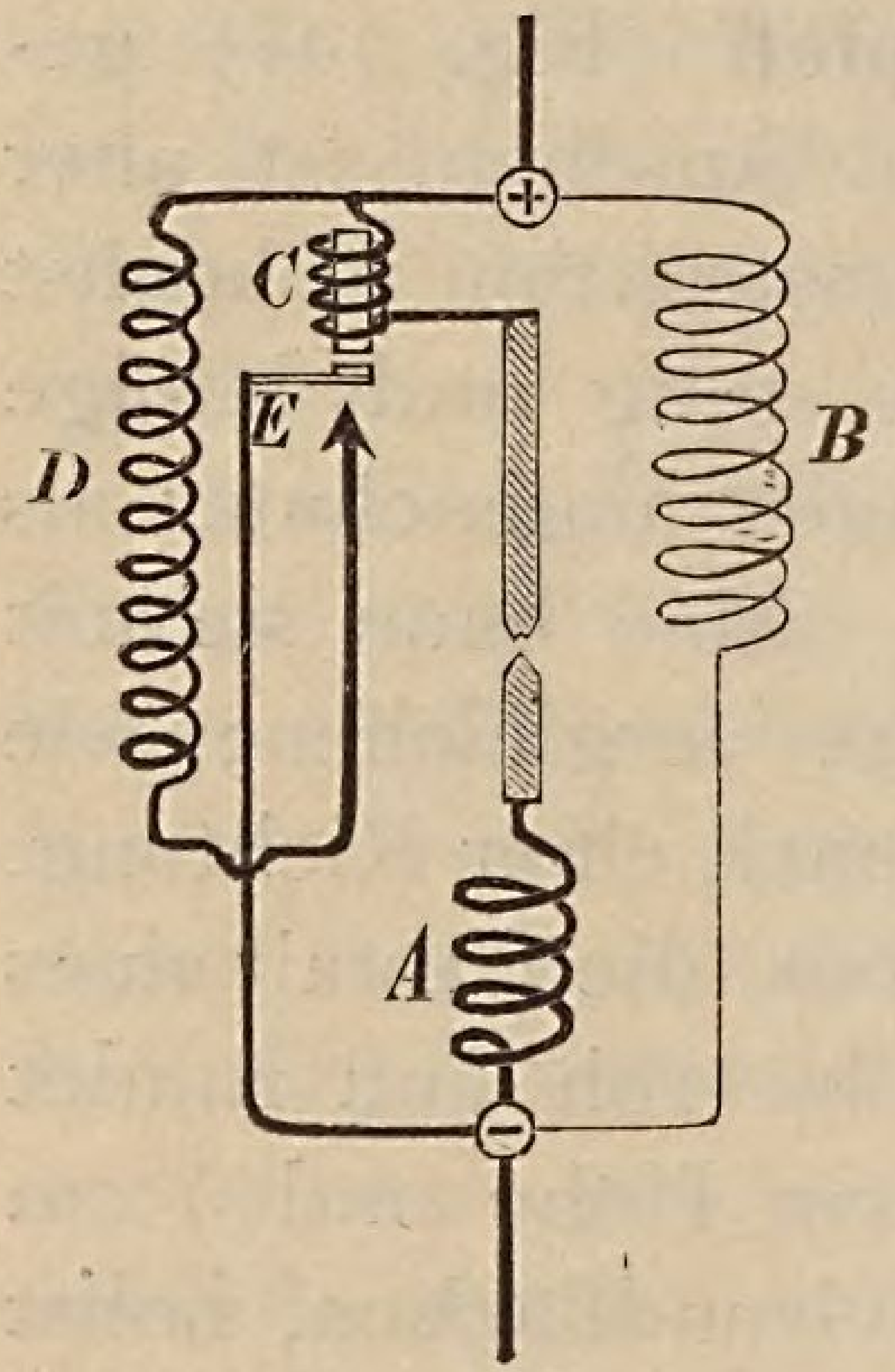


Fig. 148.

In der Praxis sollen die Bogenlampen unabhängig von einander hintereinander (in Reihen), parallel und nach beiden Arten geschaltet werden können. Es haben sich hierzu zwei Systeme ausgebildet: Lampen mit Nebenschluss und Lampen mit Differentialwickelung.

Die Lampen mit Nebenschluss beruhen (Fig. 148) auf folgendem Prinzip. Ein Elektromagnet A leitet den Bogen dadurch ein, dass er beim Stromschluss die Kohlen von einander entfernt; die im Nebenschluss liegende, mit feinem Draht bewickelte Spule B, von 40 bis 100 mal grösserem Widerstand als der Bogen, reguliert die Länge des Bogens; der Elektromagnet C zieht den Anker E von der dickdrahtigen Nebenschlussspirale D ab, so lange die Lampe brennt; sobald diese erlischt, kreist der Strom über D, welche Spule die Lampe ersetzen

muss. Wird z. B. die Lampe durch einen Strom von 10 Amp. und 50 V gespeist, so hat der Widerstand von D $\frac{E}{J} = \frac{10}{50} = 0{,}2\ \Omega$ zu betragen. D muss daher aus dickem Draht gewickelt werden, damit die Erwärmung nicht zu beträchtlich wird.

Die Lampe von Krizik ist nach obigem Prinzip ausgeführt (Fig. 149). Die beiden Kohlenträger P und N sind durch eine über die Rolle b laufende Schnur verbunden. Sie sind aus Messingröhren hergestellt, in welchen zwei weiche Eisenkerne c und d befestigt sind. Diese Kerne verlaufen konisch, damit die Wirkung der Spulen für jede Stellung annähernd dieselbe bleibe.

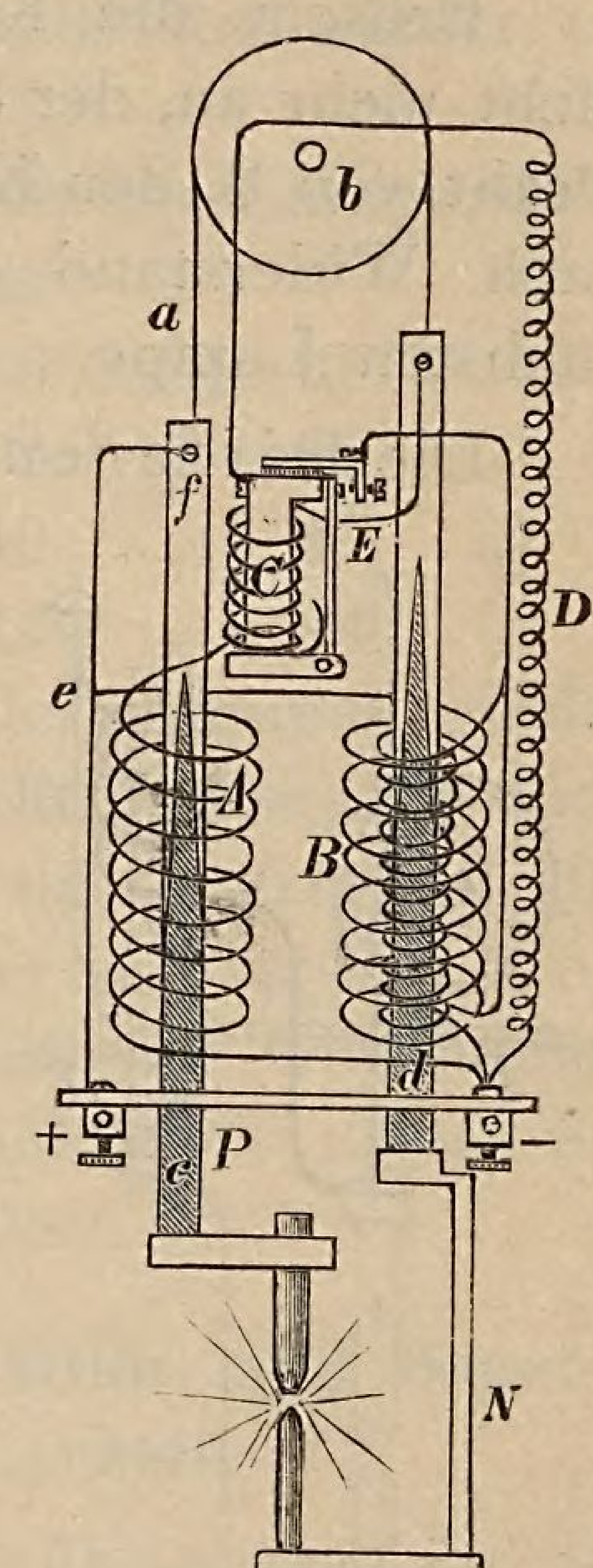


Fig. 149.

Bei stromloser Lampe ruhen die Kohlen aufeinander, weil die positive P etwas schwerer ist als die negative N. Wird der Strom geschlossen, so stehen ihm in e zwei Wege offen, der grössere Teil fliesst über den weniger widerstehenden Weg fPN, um den Elektromagneten C und durch die Spule A zur negativen Klemme; der Magnet C zieht seinen Anker herbei und der Nebenschluss D wird vom Stromkreis ausgeschlossen.

Nun teilt sich der Strom nach A und B im Ver-

hältnis ihrer Widerstände. Verlängert sich der Bogen, so wächst der Strom in B, der Eisenkern wird stärker eingezogen und der Bogen verkürzt sich, bis seine Länge normal geworden ist.

Das Uebergewicht der positiven Elektrode wird so lange abgeändert, bis der Bogen bei der gegebenen Spannung die gewünschte Länge und der Strom seine bestimmte Stärke hat.

Erlischt die Lampe, so zieht C seinen Anker nicht mehr an, der Strom fliesst durch A, den dicken Draht von B, den Kontakt E und den mit der Lampe nach Widerstand gleichwertigen Nebenschluss zur nächsten Lampe.

Die Differentiallampen, deren Arten wieder sehr verschieden sein können, beruhen alle auf folgendem Prinzip. (Fig. 149a.) Die positive Kohle strebt durch ihr Gewicht beständig zu fallen; ihr Träger greift durch eine Zahnstange in ein Getriebe A ein, das ein Flügelrad in Umdrehung versetzt. Gegen dieses Rad drückt ein Schuh B, der auf dem Hebel C sitzt. Dieser Hebel ist mit dem Eisenkern K verbunden, welcher von zwei Spulen umgeben ist; durch D fliesst der Hauptstrom, die feindrahtige Rolle E liegt im Nebenschluss. Die negative Kohle wird von einem Stück weichen Eisens getragen, das den

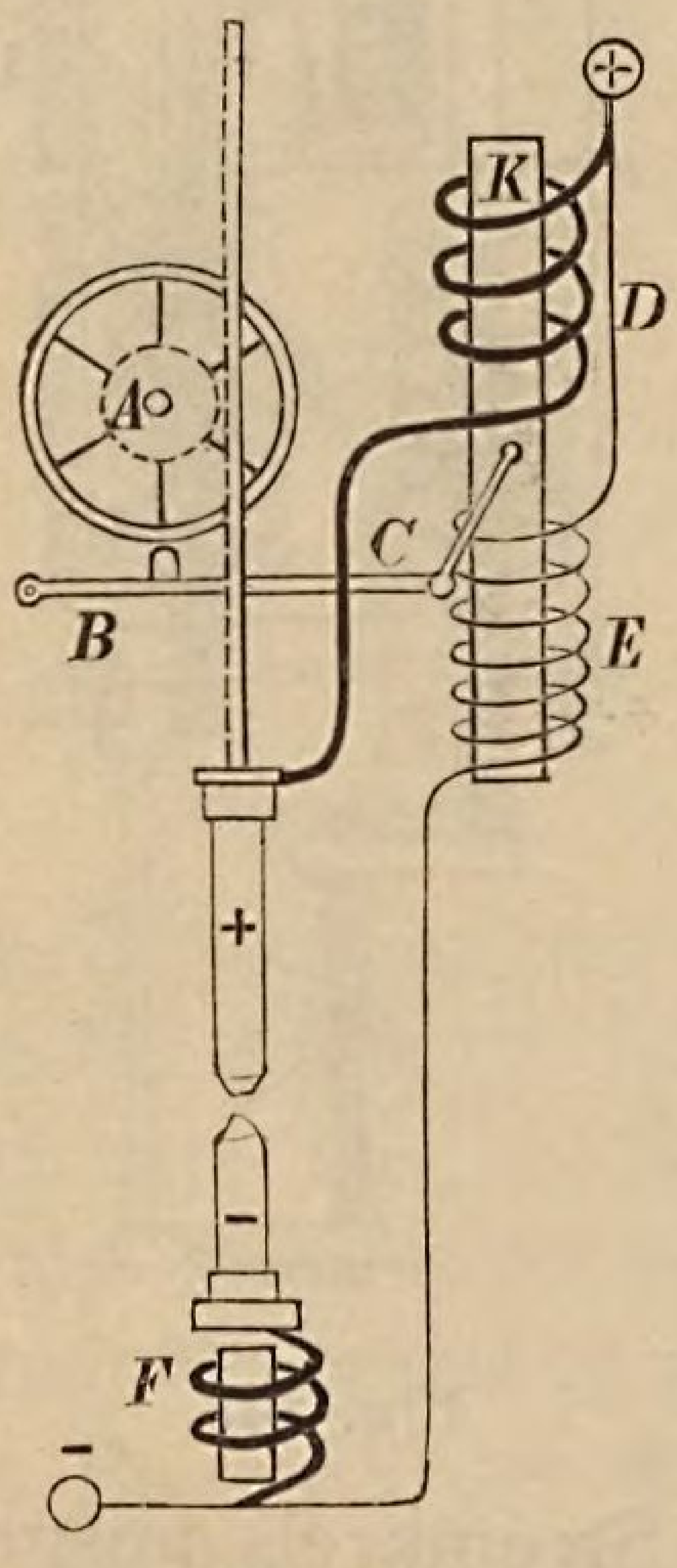


Fig. 149a.

Anker zum negativen Elektromagneten F bildet. Bei stromloser Lampe ruht die positive Kohle auf der negativen auf; bei Stromschluss zieht F seinen Anker herbei und der Bogen entzündet sich. Wird der Bogen zu lang, so wird der Hauptstrom geschwächt und der Nebenstrom verstärkt, das Flügelrad wird etwas frei gelassen, die obere Kohle senkt sich, der Hauptstrom wächst wieder, zieht den Eisenkern K empor, B legt sich an das Rad wieder an und hemmt die Bewegung.

Die Spannung soll, nachdem die Lampe etwa 1/4 Stunde gebrannt hat, betragen

bei 1 Amp.	32 Volt,		bei 6 Amp.	38 Volt,	
„ 2 „	34 „		„ 8 „	40 „	
„ 3 „	35 „		„ 10 „	42 „	
„ 4 „	36 „		„ 12 „	44 „	

Die Reihenschaltung der Lampen findet überall da statt, wo ausschliesslich mit Bogenlampen beleuchtet wird; hierzu eignet sich vorzüglich die Differentiallampe; während in Parallelschaltung und im Verein von Bogenlampen mit Glühlampen die Nebenschlusslampe verwendet wird, da sie auf gleichbleibende Spannung reguliert.

Kosten der Beleuchtung mit Glüh- und Bogenlicht. Elektrische Arbeit.

Wiewohl die Beleuchtung mit Bogenlicht für den Dilettanten nur eine Unterhaltung, ein Experiment sein kann, wird doch eine Vergleichung der Kosten beider Beleuchtungsarten von Interesse für ihn sein. Die Ausgabe für die Kohlen stellt bei Bogenlicht einen wesentlichen Teil der Gesamtunkosten dar. Die

Kohlen werden rasch verzehrt, leicht zerbrochen. Eine Flamme von 700 Kerzen verbrennt in der Stunde für 8 Pfg. Kohle, was 9 bis 10 cm Länge und 10 mm Dicke entspricht. Die Jablochkoffkerzen von 4 mm Dicke und 23 cm Länge geben eine Lichtstärke von 250 Kerzen, das Stück kostet 16 Pfg. und brennt $1\frac{2}{3}$ Stunden, was für die Stunde ungefähr 9 Pfg. ausmacht. Ein Regulator von 700 Kerzen verzehrt eine elektrische Energie von 500 Volt-Ampère oder ca. 50 kgm; eine Bogenkerze von 280 Lichtkerzen verbraucht 350 Volt-Ampère oder ca. 35 kgm. Es folgt aus diesen Ziffern, dass, je mächtiger der Lichtbogen ist, desto mehr die Kosten sich vermindern. Eine Glühlampe fordert für die Kerzenstärke 3 Volt-Ampère.

Für die gleiche ausgestrahlte Lichtmenge beträgt die verbrauchte elektrische Energie in einem Regulator 5 Volt-Ampère, in einer Jablochkoffkerze 10 Volt-Ampère, in einer Glühlampe 20 Volt-Ampère.

Eine Dynamomaschine, deren mechanisches Güteverhältnis 80% beträgt, liefert für jede ihr zugeführte PS eine Lichtstärke von 1300 bis 1400 NK bei Verwendung von Bogenlampen, dagegen höchstens 200 NK bei Glühlicht. PS = Pferdestärke = 75 kgm.

80% mechanisches Güteverhältnis bedeutet: wenn 100 kgm auf die Maschine übertragen werden, so giebt sie 80 kgm als Leistung zurück, hier in Form von Elektricität. — 1 kgm ist diejenige Energie, die in 1 Sek. 1 kg 1 m hoch hebt. Vergl. elektrisches Güteverhältnis.

Gesetze: 1. der Leitungswiderstand r wächst mit der Länge des Leiters; 2. er nimmt ab mit dem

Querschnitt q des Leiters und 3. er ist abhängig von der Natur oder dem specifischen Widerstand des Leiters.

Der spec. Widerstand eines Drahtes ist der Widerstand des Drahtes bei 1 m Länge und 1 mm^2 Querschnitt. Er beträgt bei käuflichem Kupfer 0,018 Ohm.

Länge	Querschnitt	Widerstand
1 m	1 mm^2 . .	r = 0,018 Ohm (ϱ)
3 „	1 „ . .	r = 0,018 · 3 „
1 „	1 „ . .	r = 0,018 · 1 „
1 „	7 „ . .	$= \frac{0{,}018 \cdot 1}{7}$ „
1 „	q „ . .	$r = \frac{0{,}018 \cdot 1}{q}$ „

Für Silber ist $\varrho = 0{,}015$ Ohm, für Zink $\varrho = 0{,}267$ Ohm; $r = \varrho \cdot \frac{1}{q}$

Beispiel: Welchen Widerstand hat ein reiner Kupferdraht ($\varrho = 0{,}016$) von 300 m Länge und 4,5 mm^2 Querschnitt?

$$r = 0{,}016 \cdot \frac{300}{4{,}5} = 1{,}067 \text{ Ohm.}$$

Der umgekehrte Wert des spec. Widerstandes $\frac{1}{\varrho}$ heisst die Leitungsfähigkeit; $\frac{1}{\varrho}$ für Kupfer $= \frac{1}{0{,}018}$ bis $\frac{1}{0{,}016} = 55{,}5$ bis $62{,}5$; d. h. 55,5 bis 62,5 m Kupferdraht von 1 mm^2 Querschnitt haben einen Widerstand von 1 Ohm.

Handelt es sich um die Beleuchtung grosser Räume, von Strassen und andern freien Plätzen, insbesondere von Leuchttürmen, wo eine einzige oder

wenige sehr starke Flammen ausreichen, so wird man Bogenlampen einrichten. Das Glühlicht dagegen eignet sich für die Teilung des Lichtes fast ins unendliche und da, wo ein geschlossener Raum gleichmässig erleuchtet werden soll, wo man einer grösseren Anzahl Lampen von mässiger Lichtkraft bedarf, da gehört die Zukunft dem Glühlichte.

Wie man die mechanische Arbeit eines Wasserstromes durch das Produkt Menge mal Gefälle darstellt, so findet man die mechanische Arbeit eines elektrischen Stromes durch das Produkt Stromstärke mal Spannung oder Ampère mal Volt und nennt es Volt-Ampère oder Watt. 1 Pferdestärke oder 75 kgm entsprechen 736 VA., demnach ist 1 VA. = 0,102 kgm oder = $\frac{1}{736}$ PS.

4,2 VA leisten beim Betrieb eines Motors soviel Arbeit, als die Wärmemenge, die 1 g Wasser zur Erhöhung seiner Temperatur um 1° Celsius braucht, daher sagt man kurz: 4,2 VA = 1 g Kalorie und 1 VA-Sekunde = 0,24 g Kalorien.

Wenn ein Bunsen-Element (Siehe Anwendung der Tabelle über EMK und Widerstände von Elementen) einen Strom von 18 Amp. bei 1,8 Volt Spannung liefert, so beträgt seine mögliche mechanische Arbeit 18 · 1,8 = 32,4 VA = $\frac{32,4}{736}$ = $\frac{1}{22}$ PS.

Ein Daniell-Element von 1,37 Amp. und 0,95 Volt liefert nur 1,37 · 0,95 = 1,3 VA. = $\frac{1}{560}$ PS.

Aufgaben: 1. Ein Lichtbogen erfordert erfahrungsgemäss 50 V Spannung, 5 Amp. Stromstärke und 8 Ω Widerstand. Wie viele Bunsen-Elemente sind nothwendig?

Antw.: $J = \frac{E}{R_i + R_a}$; $5 = \frac{50}{R_i + 8}$; $R_i = 2\,\Omega$.

Die Batterie muss also 2 Ω Widerstand besitzen und 5 Amp. liefern.

Beträgt die EMK eines Elementes 1,8 V, so sind 50 : 1,8 = 28 Elemente notwendig. Diese sollen 2 Ω Widerstand besitzen, also 1 Element $\frac{1}{14}$ Ω, d. h. sie müssen grossplattig sein.

2. Eine Bogenlampe erhält einen Strom von 9,2 Amp. und hat eine Spannung von 46,6 V. Welche Energie verzehrt sie?

Antw.: 9,2 · 46,6 = 428,4 VA. = $\frac{428,7}{736}$ = 0,58 PS.

3. Eine Bogenlampe hat 20 Ω Widerstand; wie gross ist der Widerstand von 10 solcher, parallel geschalteter Lampen?

20 : 10 = 2 Ω.

4. Zwei Bogenlampen von 5 Ampère erfordern 110 V Spannung; wie gross ist der Widerstand jeder derselben?

$$R = \frac{E}{J} = \frac{110}{5} = 22\,\Omega \text{ für 2 Lampen;}$$

22 : 2 = 11 Ω für die einzelne Lampe.

Kapitel VII.

Stromleiter:

ihre Widerstände, Erwärmung und Preise.

Allgemeines.

a. Material. Das als Stromleiter am häufigsten angewendete Metall ist das Kupfer, da es Wohlfeilheit und gute Leitungsfähigkeit in sich vereinigt. Versuche mit Telegraphen-Apparaten haben ergeben, dass die Fortpflanzung der Elektricität in Kupferdrähten um 10 bis 20 Prozent schneller geschieht als in Eisendrähten. In den Apparaten wird es ausschliesslich benützt, für die Fernleitung treten bisweilen Eisen, Stahl, Phosphor- und Siliciumbronze an seine Stelle. Ihrer Leitungsfähigkeit nach folgen die Metalle so auf einander: Silber, Kupfer, Messing, Eisen, Siliciumbronze, Neusilber, Nickelin. Neusilber ist eine Legierung aus 60% Kupfer, 25% Zink und 15% Nickel; Nickelin enthält mehr Nickel als Neusilber.

b. Formen: Gewöhnlich sind die Drähte cylindrisch, in manchen Fällen gebraucht man Bänder, selten dreieckigen oder quadratischen Querschnitt.

c. Hüllen. In Apparaten werden die Leitungsdrähte meist übersponnen aufgewickelt; doch kann man auch hier recht wohl blanke Drähte anwenden.

In weite Ferne, wie in oberirdischen Telephon- und Telegraphen-Linien, in Beleuchtungs- und Arbeitsübertragungs-Anlagen wird der Strom beinahe ausschliesslich mit blanken Drähten geleitet.

Die Hülle oder das Isoliermittel ist entweder eine einfache oder eine doppelte Schichte aus Seide oder Baumwolle, die mit Paraffin getränkt ist, oder eine Decke aus Guttapercha oder Kautschuk, die selbst noch mit Baumwolle übersponnen ist. Die Leitungsdrähte sind sorgfältig vor Berührung mit Kalk zu schützen, weil dieser die Hüllen, besonders die Guttapercha, zerstört. Für feuchte Orte wählt man isolierten Draht, der noch mit einem Bleimantel umgeben ist.

d. Die Dicke der Drähte steigt von 0,05 bis 6 mm; sind noch stärkere Drähte nötig, so wendet man Kabel oder Litzendrähte an, die aus mehreren dünneren Drähten geflochten sind. Der Durchmesser der Drähte hat sich zu richten 1) nach der Elektricitätsmenge, die hindurch gehen soll; 2) nach dem Spannungsverlust, den man bei der Leitung erleiden will. Von der durchfliessenden Strommenge hängt die Erwärmung der Leiter ab; der Spannungsverlust aber von dem Widerstand, den der Leiter dem Durchgang des Stromes entgegensetzt. Gewöhnlich giebt man den Durchmesser der Drähte in mm an.

mm-Drahtlehre: No. 100 = 10 mm, No. 91 = 9,1 mm, No. 26 = 2,6 mm, No. 5 = 0,5 mm.

Da man indessen den Durchmesser noch in Nummern der Standard-Wire-Gauge bezeichnet findet, so folgt die Vergleichungstabelle:

Drahtlehren.

B = Birmingham Wire gauge; A = American wire gauge von Brown und Sharpe:

Nummer der Lehre	B in mm	A in mm	Nummer der Lehre	B in mm	A in mm
0000	11,531	11,68	17	1,473	1,15
000	10,795	10,40	18	1,245	1,02
00	9,652	9,27	19	1,067	0,90
0	8,636	8,25	20	0,889	0,81
1	7,620	7,35	21	0,813	0,724
2	7,213	6,54	22	0,711	0,677
3	6,579	5,82	23	0,635	0,574
4	6,045	5,19	24	0,559	0,510
5	5,588	4,62	25	0,508	0,455
6	5,154	4,11	26	0,457	0,405
7	4,572	3,66	27	0,406	0,361
8	4,191	3,26	28	0,356	0,320
9	3,759	2,90	29	0,330	0,287
10	3,404	2,59	30	0,305	0,254
11	3,048	2,30	31	0,254	0,229
12	2,769	2,05	32	0,229	0,202
13	2,413	1,83	33	0,203	0,178
14	2,108	1,63	34	0,178	0,152
15	1,829	1,45	35	0,127	0,142
16	1,651	1,29	36	0,102	0,127

Widerstände.

Es ist für die Berechnung der Wirkungsweise elektrischer Apparate und Anlagen von höchster Wichtigkeit, die Widerstände der dazu verwendeten Leitungswege zu kennen.

Zur folgenden Tabelle ist noch zu bemerken, dass Handelskupfer einen um 4 bis 5% grösseren

Widerstand hat als das in der Tabelle angegebene Kupfer. Hat der angewendete Draht eine beträchtliche Länge, so hat man auch auf seine Temperatur Rücksicht zu nehmen, wofern man nicht bisweilen in schwere Rechnungsfehler fallen will. Der Widerstand des Kupfers wächst mit 1° C. um 0,38%. Neusilber und andere Legierungen zeigen nicht so grosse Änderungen; Neusilber nur 0,024% für 1° C. Der Widerstand der Kohle nimmt dagegen mit der Erwärmung ab; der Kohlenfaden einer Glühlampe, der kalt 230 Ohm Widerstand besitzt, hat in der Heissglut einen solchen von nur 150 Ohm.

Der Widerstand des menschlichen Körpers

ändert sich unter Anwendung der gleichen Spannungen nach der Art der Berührung. Benutzt man Messingröhren als Handgriffe und macht die Hände nur wenig nass, so beträgt der Widerstand ca. 5000 Ω, sind sie sehr nass, so fällt der Widerstand auf ca. 2700 Ω und sind sie feucht mit Salmiaklösung, so beträgt er noch ca. 1570 Ω. Mit Wechselstrom von 11 Volt beträgt der Widerstand bei mit Salmiak befeuchteten Händen ca. 1100 Ω. In den meisten Fällen wird man es mit 1000 bis 5000 Ω zu thun haben. Steckt man ein Paar Nadeln durch die Haut, so kann der Widerstand auf 100 Ω sinken, denn es ist hauptsächlich die Haut, welche den hohen Widerstand besitzt, während Blut und die anderen Säfte des Körpers gut leiten. — In den Nerven durchläuft der elektrische Strom in 1 Sek. eine Strecke von 33 bis 60 m; beim Frosch bloss 20 m; im Raum 300 000 km.

Widerstände reinen Kupferdrahtes bei 0° C.

Durchmesser in mm	Querschnitt in mm^2	Gewicht in gr per m	Länge in m per kg	Widerstand in Ohm per km	Länge in m per Ohm	Widerstand in Ohm per kg
0,1	0,0079	0,0699	14306,0	2034,2	0,49	29100
0,2	0,0314	0,2796	3576,3	508,23	1,97	1817
0,3	0,0707	0,6291	1589,6	226,52	4,42	359,28
0,4	0,1257	1,1184	894,13	127,64	7,87	113,68
0,5	0,1963	1,7475	572,24	81,367	12,29	46,56
0,6	0,2827	2,5164	397,39	56,504	17,70	22,45
0,7	0,3848	3,4251	291,96	41,514	24,09	12,12
0,8	0,5027	4,4736	223,53	31,884	31,46	7,11
0,9	0,6362	5,6619	176,62	25,113	38,82	4,43
1,0	0,7854	6,9900	143,06	20,342	49,16	2,91
1,1	0,9503	8,4580	118,23	16,811	55,51	1,98
1,2	1,1310	10,066	99,348	14,126	70,79	1,40
1,3	1,3273	11,813	84,651	12,036	83,08	1,02
1,4	1,5394	13,700	72,990	10,378	96,35	0,757
1,5	1,7671	15,728	63,582	9,0407	110,61	0,574
1,6	2,0106	17,895	55,883	7,9460	125,85	0,445
1,7	2,2698	20,201	49,502	7,0386	142,07	0,348
1,8	2,5447	22,648	44,155	6,2783	159,28	0,277
1,9	2,8353	25,234	39,629	5,6348	177,47	0,223
2,0	3,1416	27,960	35,762	5,0854	196,64	0,1817
2,1	3,4636	30,926	32,440	4,6126	216,80	0,1500
2,2	3,8013	33,832	29,558	4,2028	237,94	0,1240
2,3	4,1548	36,977	27,044	3,8453	260,06	0,1040
2,4	4,5239	40,263	24,837	3,5315	288,16	0,0875
2,5	4,9087	43,688	22,890	3,2547	307,25	0,0745
2,6	5,3093	47,253	21,163	3,0091	332,32	0,0635
2,7	5,7256	50,957	19,624	2,7904	338,38	0,0547
2,8	6,1575	54,802	18,248	2,5946	385,42	0,0472
2,9	6,6052	58,768	17,011	2,4188	413,44	0,0411
3,0	7,0676	62,910	15,896	2,2550	443,46	0,0359

Durchmesser in mm	Querschnitt in mm²	Gewicht in gr per m	Länge in m per kg	Widerstand in Ohm per km	Länge in m per Ohm	Widerstand in Ohm per kg
3,1	7,5477	67,174	14,887	2,1167	472,43	0,0315
3,2	8,0425	71,578	13,971	1,9865	503,40	0,0278
3,3	8,5530	76,122	13,137	1,8679	535,35	0,0244
3,4	9,0792	80,805	12,375	1,7597	568,29	0,0216
3,5	9,6211	85,628	11,678	1,6605	602,21	0,0193
3,6	10,1788	90,591	11,039	1,5695	637,12	0,0172
3,7	10,7521	95,694	10,451	1,4859	673,00	0,0154
3,8	11,3412	100,94	9,907	1.4087	709,87	0,0139
3,9	11,9459	106,32	9,406	1,3374	747,73	0,0125
4,0	12,5664	111,84	8,941	1,2714	786,56	0,0114
4,1	13,2025	117,50	8,510	1,2101	826,38	0,0103
4,2	13,8544	123,30	8,110	1,1532	867,19	0,0093
4,3	14,5220	129,24	7,737	1,1001	908,97	0,0085
4,4	15,2053	135,33	7,390	1,0507	951,74	0,0077
4,5	15,9043	141,55	7,065	1,0045	995,49	0,0071
4,6	16,6190	147,91	6,761	0,9613	1040,20	0,0065
4,7	17,3434	154,41	6,476	0,9208	1085,90	0,0095
4,8	18,0956	161,05	6,209	0,8828	1132 70	0,0054
4,9	18,8574	167,83	5,958	0,8472	1180,30	0,0050
5,0	19,6350	174,75	5,722	0,8136	1229,00	0,0046

Telegraphische Einheiten.

Ohm.	Deutsche Meile 4 mm Eisendraht.	Franz. Meile.	Engl. Meile.	km 4 mm Eisendr.
1 =	0,014 =	0,023 =	0,065 =	0,105
71,2 =	1 =	1,67 =	4,65 =	7,5
46,2 =	0,6 =	1 =	2,78 =	4,48
15,3 =	0,215 =	0,359 =	1, =	1,61
9,5 =	0,134 =	0,223 =	0,62 =	1

Erwärmung des Leitungsweges durch den elektrischen Strom.

Wir haben schon gesehen, dass ein Leiter durch den Durchgang eines elektrischen Stromes erwärmt wird und zwar im Verhältnis zu seinem Widerstande, zu der Stromstärke und der Dauer der Einwirkung. Bezeichnet R den Widerstand in Ohm, J die Stromstärke in Ampère, so ist nach Joule's Gesetz die Wärmemenge W_m, die während t Sekunden erzeugt wird: $W_m = 0{,}24 \cdot J^2 R \cdot t$ Gramm-Kalorien. Eine Gramm-Kalorie ist diejenige Wärmemenge, die 1 g Wasser braucht, damit seine Temperatur um 1° C. erhöht wird. Vergl. VI. Schluss und V. Anfang.

Erster Versuch. (Fig. 150.) Handelt es sich bloss um den Nachweis der Erwärmung und angenäherte Bestimmung des Gesetzes, so befestigt man mittels Kork ein Thermometer in ein kleines Glasgefäss und umgiebt die Kugel mit einer kleinen Drahtspirale von Eisen, Neusilber oder Platin. Die durch den Kork geführten Zuleitungsdrähte nimmt man 1 mm dick. Füllt man das Gefäss ganz mit Weingeist, der mit ca. 20% Wasser verdünnt ist, auf, so genügt eine 20 bis 30 cm lange, beiderseits offene enge Glasröhre, an der man den Stand der Flüssigkeit mit einem roten Faden bezeichnet.



Fig. 150.

Zweiter Versuch. (Fig. 151.) Der im Folgenden beschriebene Apparat ist eine Abänderung des Forster'schen; er dürfte sich zur wohlfeilen Selbstanfertigung eignen.

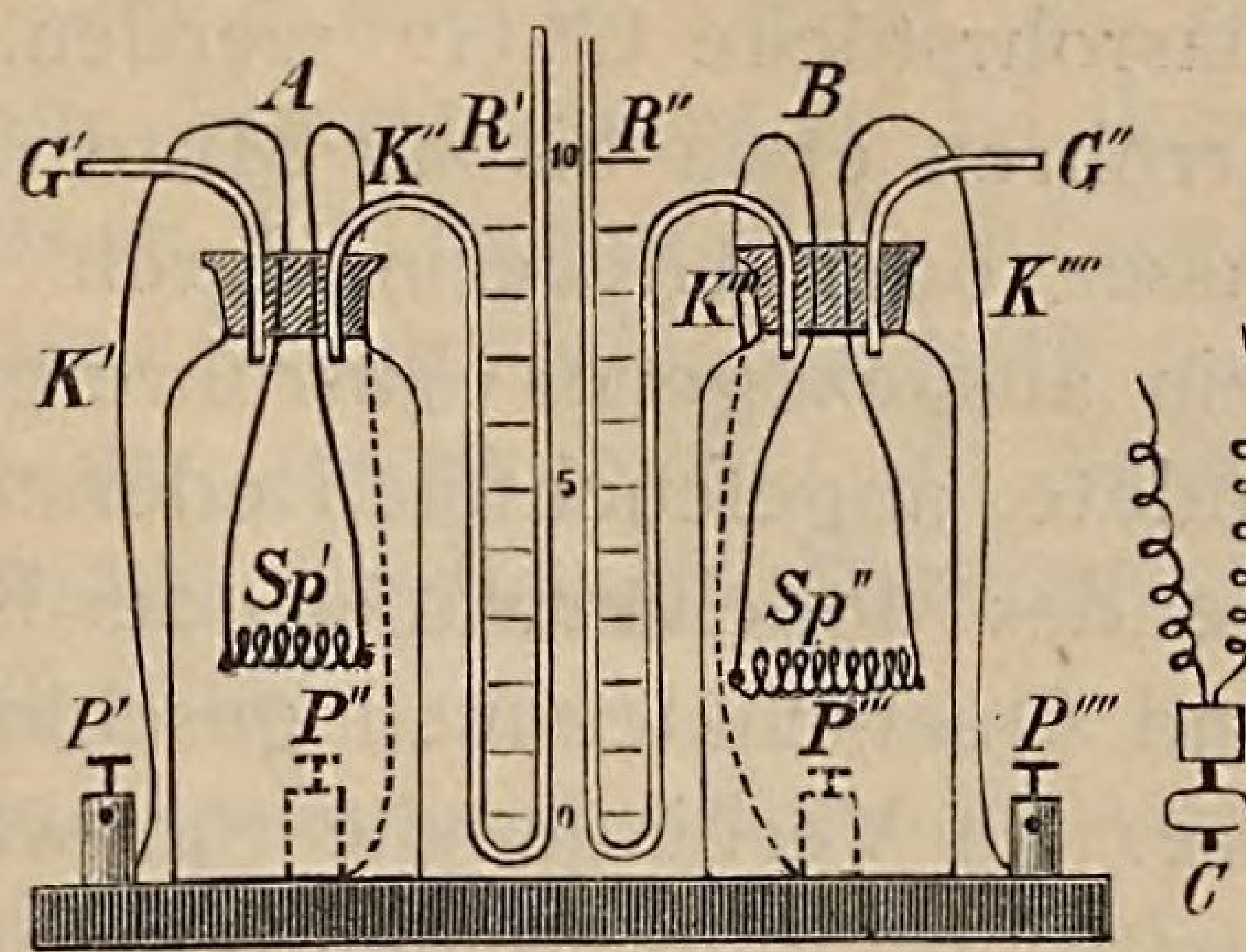


Fig. 151.

Der Apparat. A und B sind luftgefüllte Gläser, wie man sie beim Bezug von Ätzkali aus den Apotheken erhält; Höhe 15 cm, Weite 5 cm. Durch die wohlausgesuchten Korke gehen die umgebogenen Glasrohrstücke G′ und G″, die doppelgebogenen Glasröhren R′ und R″; diese Röhren haben einen äusseren Durchmesser von 6 mm, R′ und R″ sind von derselben Röhre genommen; ferner je zwei 1 mm dicke Kupferdrähte K′ K″ und K‴ K⁗, an welche sehr feine Eisen-, oder Nickelin-, oder Platindrähte angelötet sind; die Spirale Sp″ ist annähernd doppelt so lang als Sp′; beim nachträglichen Messen fanden sich ihre Widerstände, wenn in die Polklemmen P′ P″ und P‴ P⁗ eingesetzt wurde, zu 1,3 und 2,7 Ω.

An die Manometerröhren sind mittels gebleichten Schellacks Pauspapierstreifen angeklebt; die Skala wurde in halbe cm eingeteilt, mit Tusche ausgezogen und mit sehr dünnflüssigem gebleichten Schellack bestrichen.

Zur sicheren Dichtung wurden die Korke mit dickflüssigem Schellack ganz bedeckt. Die Gläser sind mit dickflüssigem Schellack auf das Grundbrett ge-

kittet. Die Glasrohrstücke G' G'' werden, nachdem die Manometerröhren etwa bis zur Mitte (hier 5) mit gefärbtem Wasser oder Glycerin durch Eingiessen mittels sehr fein ausgezogener Glasrohre gefüllt sind, durch abgerundete, angefeuchtete Lederstopfen oder plastisch bleibendes Modellierwachs oder Kautschukrohrstücken und Quetschklemmen geschlossen.

Versuche. 1) Verbinde die rückwärtsstehenden Polklemmen P'' P''' durch einen Kupferdraht und P' und P'''' mit den Polen eines Tauchelementes. Sofort mit dem langsamen Eintauchen der Elektroden steigt die Flüssigkeit rasch in den Manometerröhren und zwar in R'' doppelt so hoch als in R'. Dieses Verhältnis bleibt, nachdem die Elektroden gehoben sind, bei der Abkühlung der Spiralen unverändert.

2) Verbinde P'' und P''' durch den Doppeldraht C mit dem einen Pol des Elements und ebenso P' und P''' mit dem andern Pol. Beim langsamen Eintauchen der Elektroden steigt die Flüssigkeit in R' doppelt so hoch als in R'' und dieses Verhältnis bleibt nach dem Ausheben der Elektroden während der Abkühlung stets dasselbe.

Folgerungen. 1) Ein Gas dehnt sich unter konstantem Druck bei einer bestimmten Temperaturerhöhung um einen bestimmten Teil seines Volumens aus; in R'' hat, weil die Steigung der Flüssigkeit die doppelte von der in R' war, die doppelte Ausdehnung stattgefunden; also ist von demselben Strom in der Spirale mit dem doppelten Widerstand die doppelte Wärmemenge erzeugt worden; demnach ist die erzeugte Wärme dem Widerstand proportional.

2) Durch den doppelten Widerstand Sp'' ging

nur halb so viel Strom als durch den einfachen von Sp'; aber die Flüssigkeit ist in R' doppelt so hoch gestiegen als in R''; somit hat der halbe Strom in dem doppelten Widerstand nur halb so viel Wärme erzeugt als der ganze Strom im einfachen Widerstand; demnach wächst die Wärmemenge mit dem Quadrat der Stromstärke.

3) Beide Ergebnisse, in Formel dargestellt, geben $W_m = J^2 \cdot R$ in Watt. Man achte auf die verschiedene Schaltung des Stromes in beiden Versuchen!

Jeder Versuch beansprucht nicht über eine Minute Zeit und die Verbindung der Drähte auch nicht mehr. — Für den Unterricht würde man Gläser von etwa 1 Liter Inhalt, weitere Manometerröhren, etwa doppelt so grosse Widerstände und ein Doppelelement wählen.

Aufgaben: 1. Der Widerstand eines Stromkreises beträgt 25 Ω, die Stromstärke 0,6 Amp.; welche Wärmemenge wird in 1 Sekunde erzeugt?

Antw. $W_m = J^2 \cdot R \cdot 0{,}24 = 0{,}6^2 \cdot 25 \cdot 0{,}24 = 1{,}136$ g Cal.

2. Eine Glühlampe von 60 V Spannung hat warm 55 Ω Widerstand; wie viel Wärme strahlt sie stündlich aus, wenn 6% der elektrischen Energie in Licht umgewandelt werden?

Antw. $J = \frac{E}{R} = \frac{60}{55} = 1{,}09$ Amp.

$W_m = 1{,}09^2 \cdot 55 \cdot 0{,}24 \cdot 3600 = 56558$ g-Kal.

Davon ab 6% = 3387 g-Kal., somit bleiben

53071 g-Kal. oder $53071 \cdot 4{,}2 = 222898{,}2$ V-A.

Grenzen der Erwärmung der Leitungswege in Anlagen. Anwendungen.

a. Die Erwärmung der Leitungswege darf nie gefährlich werden; man muss somit die äussersten Grenzen kennen, die ein Leiter ertragen kann. Diese Grenze hängt ab vom Querschnitt des Leiters, von seiner Umhüllung, von der Möglichkeit der Abkühlung und von seinem Widerstande. Im allgemeinen nimmt man für Drähte, deren Durchmesser 6 mm nicht übersteigt und die, mit reinem Kupfer verglichen, eine Leitungsfähigkeit von 95% haben, folgendes an:

	Amp. auf 1 mm^2
Blanke Drähte, in freier Luft ausgespannt	6
Drähte mit Baumwolle umsp.	4
„ „ Kautschukhülle .	2,5
Kabel mit Bleimantel	1,5.

Diese Zahlen sind die äussersten Grenzen; für Anlagen siehe Kap. V. In Apparaten, in denen die Drähte nicht die Möglichkeit der Abkühlung haben, wird man umsomehr geringere Stromdichten als die angegebenen der Berechnung zu Grunde legen. Klar ist auch, dass diese Werte für Eisen, Messing, Neusilber u. s. w., deren Widerstand weit grösser ist als der des Kupfers, nicht gültig sind.

Auf den Durchmesser bezogen, kann man für Elektromagnetrollen und andere Solenoide rechnen:

3,5 mm Durchmesser	48 Amp.
2,4 „ „	28 „
2,0 „ „	15 „
1,5 „ „	9 „
1,0 „ „	4 „
0,7 „ „	2 „
0,5 „ „	1 „

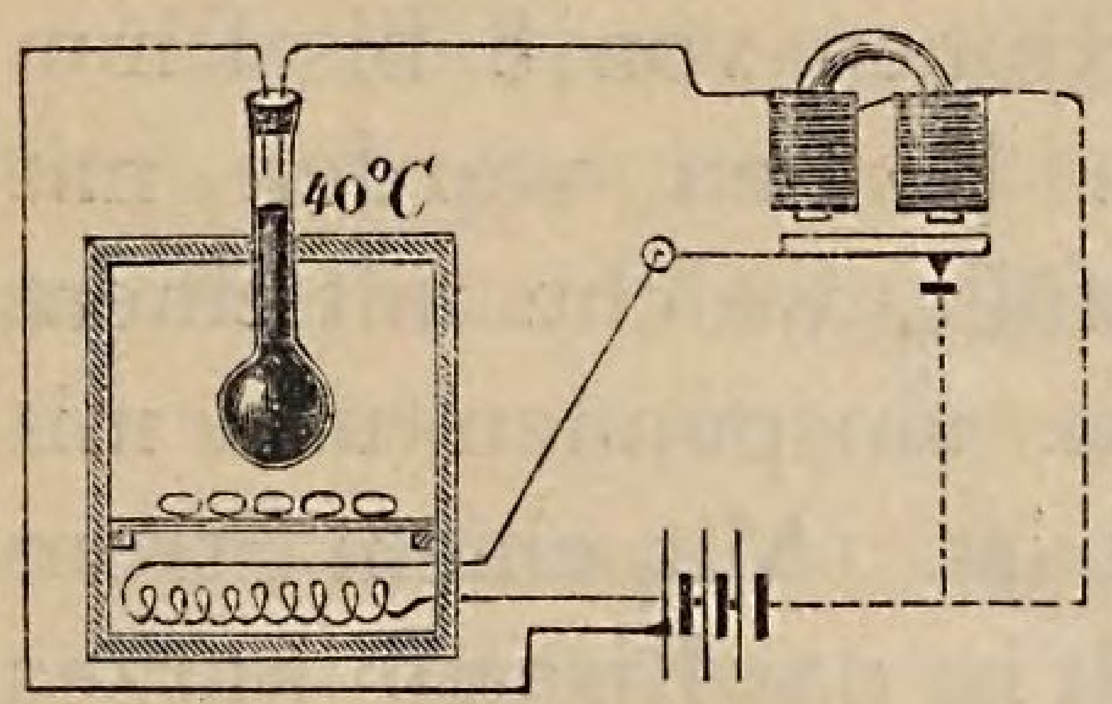


Fig. 151a.

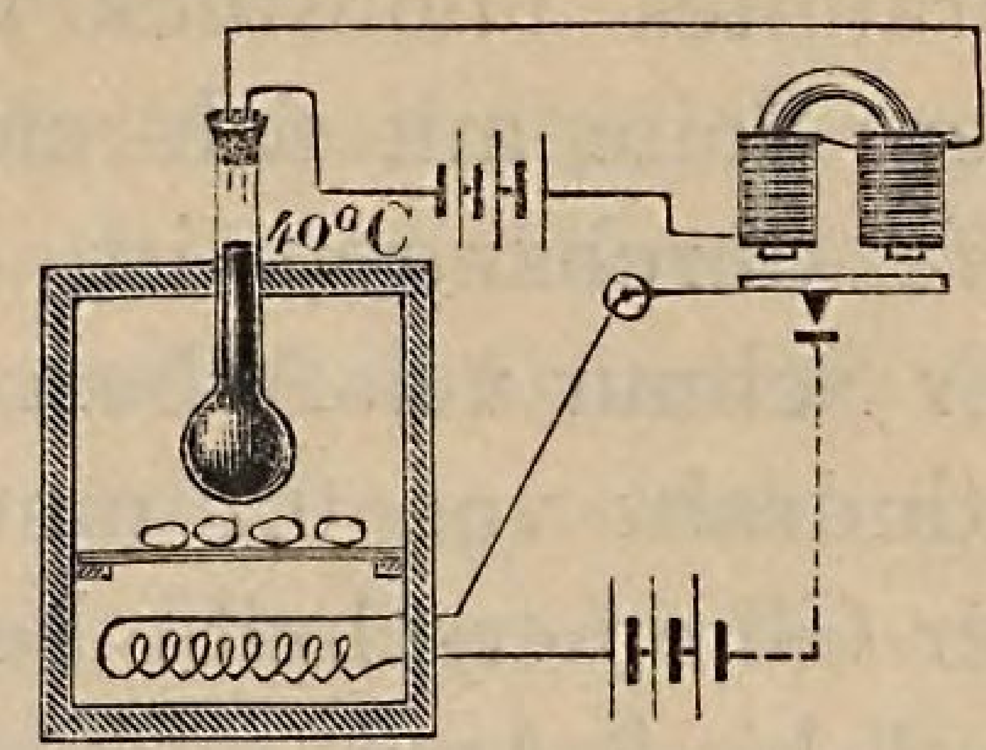


Fig. 151b.

b. Die elektrische Brüteeinrichtung (Fig. 151a und b). In einem doppelwandigen Kästchen liegen auf weichem lockeren Lager von Wolle die auszubrütenden Eier. Der darunter befindliche Raum wird erwärmt durch den Strom einer starken konstanten Batterie (Abflussbatterie, Accumulatoren), der eine Spirale aus Eisen- oder Neusilberdraht von 8 bis 10 m Länge und 1 mm Dicke erhitzt. Die Temperatur wird konstant erhalten durch ein Quecksilberthermometer (IX, Temperaturanzeiger), das den Strom bei 40°C ausschaltet (Fig. 151a), indem das steigende Quecksilber, die beiden Platindrähte berührend, den Strom über den Elektromagneten schliesst, dieser seinen Anker anzieht und so den Strom zur Erwärmungsspirale unterbricht. In Fig. 151b geschieht diese Temperaturregulierung durch zwei Braunsteinelemente, wodurch an Strom gespart wird.

c. Umgiebt man ein kleines Blechgefäss mit einer dünnen Schicht Asbest, wickelt um diesen den Platindraht in Spiralen und senkt dieses Gefäss in ein anderes mit Gips oder Tuch bekleidetes, so hat man einen kleinen, freilich teuren Kochapparat.

d. Das elektrische Bügeleisen. In ein Bügeleisen von der gewöhnlichen Form kommt ein

gebranntes Thonstück von ähnlicher Form, dessen untere Seite mit zahlreichen Rinnen von 3 bis 4 mm Tiefe durchzogen ist. Diese Rinnen werden mit einer Schnur aus Asbest ausgefüllt, welche mit einem Platindraht von 0,1 mm Dicke umsponnen und mit einer Glimmerscheibe bedeckt ist. Mit einem Strom von 1 bis 3 Amp. und 110 Volt ist das Eisen in kurzer Zeit gebrauchsfertig.

e. Elektrische Kauterisation. Anstatt Warzen mit dem Messer abzuschneiden, umschlingt sie der Wundarzt mit feinem Platindraht, macht diesen durch starken Strom glühend und nimmt die Warzen so ab. Bei zu starkem Strom schmilzt auch der Platindraht.

f. Cardew's Voltmeter besteht aus einem dünnen langen Platindraht, der durch die Wärme des Stromes sich ausdehnt und einen Zeiger bewegt, an dem die Spannungen des Stromes abgelesen werden.

g. Elektrisches Schweissen. Lagrange und Hoho (1893) verlöten den Zuleitungsdraht der Anode (Eintritt des + Stromes) mit einer Bleiplatte, senken diese in einer Wanne mit kaltem Wasser, worin Kaliumkarbonat ($K_2 CO_3$, Potasche) gelöst ist. Den Draht der Kathode befestigt man an einer metallenen Zange, fasst mit dieser ein Metallstück und taucht dieses in das Wasser, es wird sofort glühend und schmilzt sogar bei einem Strom von 220 Amp. und 120 Volt. Nimmt man es heraus, so kann man es hämmern und schweissen. Der abgeschiedene Wasserstoff stellt einen grossen Widerstand von Wasser zur Kathode dar und an dieser wird beinahe die ganze Stromenergie in Wärme umgesetzt.

Spannungsverlust.

Ein Verlust an elektrischer Arbeit findet in jeder Leitung statt. Der Gesamtbetrag desselben ist das Produkt: Leitungswiderstand mal Quadrat der Stromstärke $R J^2$. Er äussert sich, abgesehen von der Erwärmung, darin, dass zwischen den Enden der Hin- und Rückleitung eine kleinere Spannungsdifferenz herrscht als an den Polklemmen. Diesen Spannungsverlust drückt man in Volt aus, indem man den Widerstand der Leitung in Ohm r mit der Stromstärke in Ampère i multipliziert $e = i \cdot r$. Der Spannungsverlust wird vermindert durch Vergrösserung des Querschnittes des Leitungsdrahtes. Soll aber bei demselben Spannungsverlust dieselbe Stromstärke auf die doppelte Entfernung übertragen werden, so ist der doppelte Querschnitt und also das 4fache Kupfergewicht erforderlich.

Dieselbe Arbeit kann aber erhalten werden durch hohe Spannung und entsprechend kleinere Stromstärke.

Beispiel. $500 \cdot 30 = 1500$ V-A sollen auf einer Leitung von 5 Ohm Widerstand übertragen werden. Der Voltverlust beträgt $e = i \cdot r = 30 \cdot 5 = 150$ V; in der Verbrauchsstation bleiben also noch $500 - 150 = 350$ V und eine Gesamtenergie $= 350 \cdot 30 = 10\,500$ V-A.

Die Stromstärke i_1 sei nun aber 10 Amp. und die Spannung $e_1 = 3 \cdot 500 = 1500$ V; dann stehen in der Verbrauchsstation zur Verfügung an Spannung $1500 - 5 \cdot 10 = 1450$ V und an Gesamtenergie $1450 \cdot 10 = 14\,500$ V-A. Durch Erhöhung der Spannung und verhältnismässige Erniedrigung der Stromstärke wird an verwendbarer Energie gewonnen.

Diese Ergebnisse haben zur Anwendung der Mehrleitersysteme geführt.

Fig. 151c veranschaulicht das Dreileitersystem. Die Elemente (Dynamomaschinen, Accumulatoren) A und B sind in Reihen verbunden; aber sowohl von den äussersten Polen als vom Verbindungsdraht gehen Leiter aus. Besitzt jedes Element die Spannung von 1 Volt, so herrscht zwischen 1 und 2 die Spannung von 1 Volt, aber zwischen 1 und 3 die Spannung von 2 Volt. Sieht man vom Mittelleiter ab, so ist für die Hauptleiter bei derselben übertragenen Arbeit nur $\frac{1}{4}$ des Querschnittes nötig, den man anwenden müsste, wenn dieselbe Energie durch das Zweileitersystem geführt werden sollte. Der Mittelleiter erhält nur dann Strom, wenn 1 und 3 verschieden beansprucht werden; er kann somit geringen Querschnitt erhalten; gewöhnlich halb so stark als die Aussenleiter.

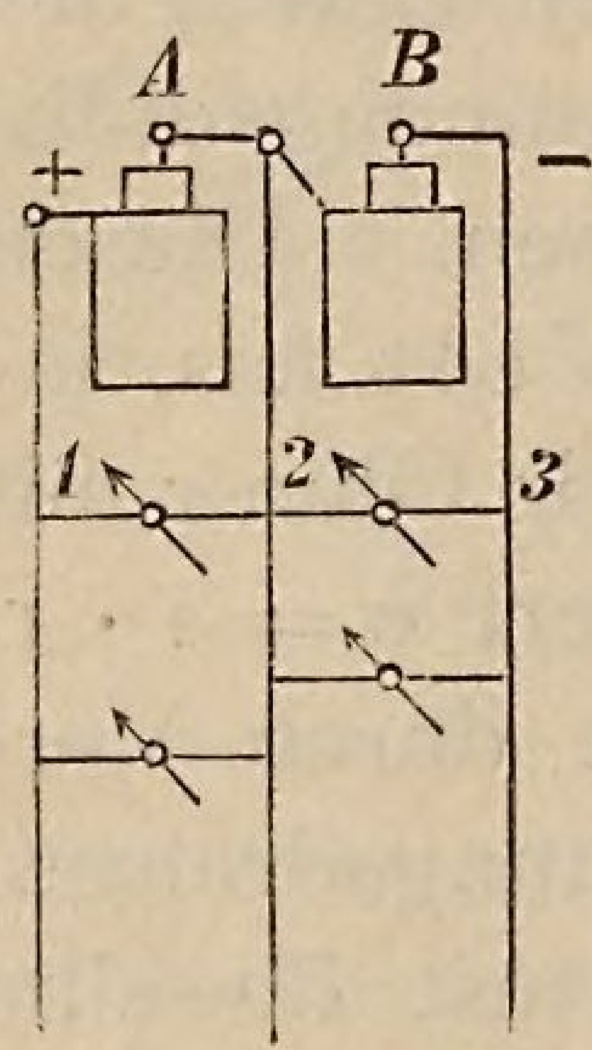


Fig. 151c.

Querschnitt der blanken und umhüllten Drähte.

Bei der Konstruktion eines Apparates darf man nur selten die Dimensionen der blanken Leitungsdrähte der Berechnung zu Grunde legen; man muss bei einem gegebenen Raum die Dicke der Baumwollhülle, die den Durchmesser bedeutend erhöht, in Anschlag bringen. Die folgende Tabelle giebt hierüber einige Auskunft.

Dicke der Baumwollhülle:

Durchmesser in mm blank.	Durchmesser der umsponnenen Drähte. a	b	Durchmesser in mm blank.	Durchmesser der umsponnenen Drähte. a	b
1	1,5	1,72	6	6,9	7,15
2	2,6	2,88	7	7,9	8,15
3	3,6	3,9	8	9,0	9,25
4	4,7	5	9	10,1	10,4
5	5,8	6,1	10	11,1	11,4

In der Tabelle sind die Durchmesser der umsponnenen Drähte doppelt angegeben:

a. die direkten Abmessungen der Drähte; b. Messungen an fertigen Elektromagneten, bei denen die leeren Räume und Unregelmässigkeiten in den Aufwickelungen berücksichtigt sind. Die Werte der zweiten Berechnungsart sind zwar nicht streng richtig, müssen aber in der Praxis in Rechnung genommen werden.

Für Durchmesser von 0,1 bis 1,5 mm kann man durch die Umhüllung eine Vermehrung von 0,5 mm annehmen. Viele Fabrikanten benützen von 4 mm an aufwärts beklöppelte Drähte; die Dicke der Beklöppelung richtet sich gleichfalls nach den obigen Angaben.

Die Dicke der doppelten Bespinnung mit Seide beträgt 0,3 mm; des hohen Preises wegen wird indessen Seide nur in Messinstrumenten und in Apparaten, wo der Raum es erheischt, angewendet.

Den *Durchmesser* eines Drahtes *bestimmt* man am genauesten, wenn man ihn über einen Blei-

stift in dichten Spiralen windet, die Länge der Spirale misst und die gefundene Zahl mit der Anzahl der Windungen teilt.

Es ist immerhin gut, sich selbst davon zu versichern, ob die Angaben der Fabrikanten richtig sind; denn während des Umspinnens wird der Draht leicht so gestreckt, dass er einen ziemlich kleineren Durchmesser als den angegebenen haben kann. Für die Verwendung der Drähte zu Präcisionsapparaten sollte diese Untersuchung nie unterlassen werden; man entblösst hierzu die Drähte auf einer Strecke von 30 bis 40 cm und prüft wie angedeutet.

Ungefähres Gewicht der Seiden- und Baumwollhülle der Drähte für 1 kg.

Durchmesser des blanken Drahtes.	Anzahl der m auf 1 kg blank.	Gewicht der Seide in g.
1,6	57	34
1,0	140	51
0,66	328	68
0,35	1140	102
0,22	3000	
0,18	4500	136
0,13	8800	187

Die Baumwollhülle vermehrt das Gewicht um 200 g für 1 kg bei Drähten von weniger als 0,1 mm Durchmesser, um 120 g für 1 kg bei Drähten von 0,5 mm, um 100 g für 1 kg bei 1 mm Durchmesser, und um 25 g für 1 kg bei 6 mm Durchmesser.

Rheostaten.

Bei der Einrichtung der Glühlampen-Anlagen mussten die Rheostaten erwähnt werden. Es sind Apparate, deren Zweck ist, die Stärke und Spannung eines elektrischen Stromes innerhalb gewisser Grenzen zwischen zwei gegebenen Punkten auf eine gewisse Grösse einzustellen. Ihre Wirkungsweise beruht darauf, dass durch Einschalten elektrischer Widerstände in einen Stromkreis die Stromstärke in diesem vermindert wird. Sie werden entweder direkt in den Kreis des Nutzstroms, der reguliert werden soll, eingeschaltet oder aber in einen besonderen Erregerstromkreis (Elektromagneten der Dynamomaschinen), von dessen Stärke die Intensität des Nutzstroms abhängig ist.

Die Materialien, aus denen die Rheostaten konstruiert werden, sind: Neusilber, Nickelin, Eisen, Messing und Kupfer in Drähten, in dünnen Streifen, in metallischem Gewebe; ferner Kohlenstäbe und Zinkvitriollösungen mit 2 Zinkplatten oder Kupfervitriollösungen mit 2 Kupferplatten die man nähern und entfernen kann.

Eine freie Drahtspirale darf durch einen Strom von solcher Stärke belastet werden, bis sie zischt, wenn man sie mit dem befeuchteten Finger berührt. Auf einen festen Körper gewickelt, kann man den Widerstandsdraht höher beanspruchen; dies gilt besonders für feine Drähte, weil sie, freihängend, im warmen Zustande ihre Form ändern.

Die Art und Weise der Wickelung einer Spirale ist von grossem Einfluss auf ihre Belastungsfähigkeit; es ist daher notwendig, die Einwirkung der beiden Faktoren, Wickelungsbreite und Spiralendurchmesser, zu kennen.

Zur Bestimmung des Einflusses der Wickelungsweite untersucht man mehrere Spiralen von gleichem Durchmesser aber verschiedenen Windungszahlen pro Decimeter Spiralenlänge und verschiedener Drahtstärke. Als vergleichendes Merkmal benutzt man das „Zischen".

Eine Spirale von 13 mm Durchmesser wird am günstigsten ausgenützt, wenn der Abstand zweier Windungen gleich dem doppelten Drahtdurchmesser ist.

Die Drahtrheostaten kühlen sich durch Ausstrahlung der in ihnen durch den Strom erzeugten Wärme in die Luft ab; bisweilen taucht man sie in nichtleitende Bäder, z. B. Erdöl.

Die Rheostaten aus Eisendraht sind zwar wohlfeil, aber ihr Widerstand wechselt sehr mit den Temperaturänderungen; sie sind also nur da zulässig, wo es auf eine grosse Genauigkeit nicht ankommt.

I. Tabelle für Gewichte und Widerstände von Eisendrähten.

Durchmesser in mm	Meterzahl pro kg	Gewicht pro m in gr	Widerstand pro m in Ohm	Länge pro Ohm in m
0,5	662	1,51	0,510	1,96
1,0	165	6,05	0,127	7,85
1,5	73,5	13,6	0,057	17,5
2,0	41,3	24,2	0,032	31,3
2,5	26,5	37,7	0,0202	49,5
3,0	18,4	54,4	0,0141	71,0
3,5	13,5	74,1	0,0104	98,0
4,0	10,3	96,8	0,0080	125
4,5	8,20	122	0,0063	158
5,0	6,62	151	0,0050	200

II. Tabelle für Widerstände der Kohlenstäbe.

Durchmesser in mm	Widerstand per m in Ohm	Durchmesser in mm	Widerstand per m in Ohm
1	50	8	0,781
2	12,5	10	0,500
3	5,55	12	0,348
4	3,125	15	0,222
5	2,000	18	0,154
6	1,320	20	0,125

III. Tabelle zur Anfertigung von Stromregulatoren aus Nickelindraht.

Durchm. in mm	Widerst. in Ohm per m	Länge f. 1 Ohm mm	Zulässige Beanspr. in Amp.	Durchm. in mm	Widerst. in Ohm per m	Länge für 1 Ohm in m	Zulässige Beanspr. in Amp.
0,10	57	17,5	0.1	0,9	0,71	1,59	3,25
0,15	25,5	39	0,2	1,0	0,57	1,79	3,5
0,2	14.3	70	0,3	1,1	0,47	2,11	4,0
0,25	9,3	108	0,45	1,4	0,29	3,42	5,8
0,30	6,3	159	0,6	1,6	0,22	4,5	7,0
0,35	4,7	213	0,75	1,8	0,18	5,7	8,5
0,40	3,3	300	0,9	2,0	0.14	7,6	10,0
0,45	2,8	360	1,05	2,4	0,10	10,1	13,2
0,50	2,3	440	1,2	2,6	0,085	11,8	14,8
0,6	1,6	630	1,6	2,8	0,073	13,7	16,6
0,7	1,17	830	2,0	3,0	0,064	15,7	18,4
0,8	0,89	1120	2,5				

Formen der Rheostaten.

a. Rheostaten mit gleichbleibendem Widerstand, wie man sie mit den Glühlampen parallel schalten kann, bestehen aus einer Spirale von Eisen-, Neusilber- oder Nickelindraht von solcher Länge, dass

sein Widerstand dem der Glühlampe gleichkommt, und den man so auf einen Holz-, Porzellan- oder Kartoncylinder wickelt, dass die Windungen 1 bis 2 mm von einander abstehen. (Fig. 153.)

Würde man für einen beträchtlichen Widerstand zu langen Draht und zu umfangreiche Rollen erhalten, so verwendet man Kohlenstäbe, die hinter- oder nebeneinander verbunden werden. Solche Rheostaten haben kleine Dimensionen und hohen Widerstand; auch Bleistifte lassen sich hierzu einrichten. (Fig. 152.)

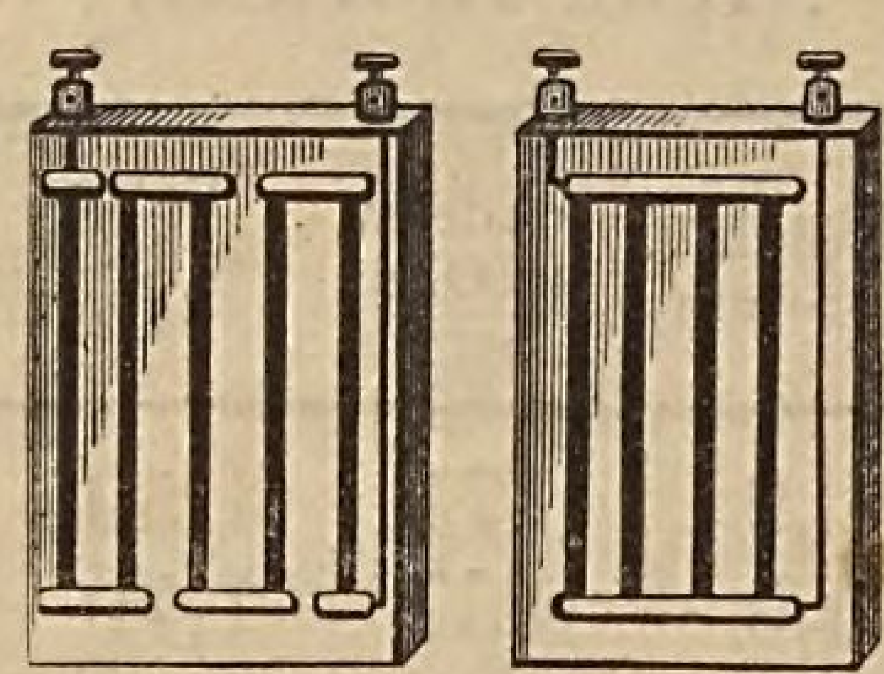


Fig. 152.



Fig. 153.

Ein sehr häufig gebrauchter Rheostat dieser Art ist die Lampenbatterie, eine Anzahl parallel geschalteter Lampen, die man in Gruppen aus- oder einschalten kann.

b. Veränderliche Widerstände konstruiert man auf dieselbe Weise wie die konstanten, nur bringt man eine Vorrichtung an, die die Länge des eingeschalteten Drahtes rasch zu ändern gestattet.

1) Linear-Rheostat. (Fig. 154.) An einer Wand oder an einem langen Brett zieht man einen Widerstandsdraht als lange Schleife und verschiebt auf derselben einen Kontakt (zweimal umgebogenes Messing- oder Kupferblech), welcher beliebige Stücke des Widerstands einschaltet. Bei dieser Form ist

die Ventilation gut, die Herstellung billig und die Handhabung einfach. Man kann zwischen den

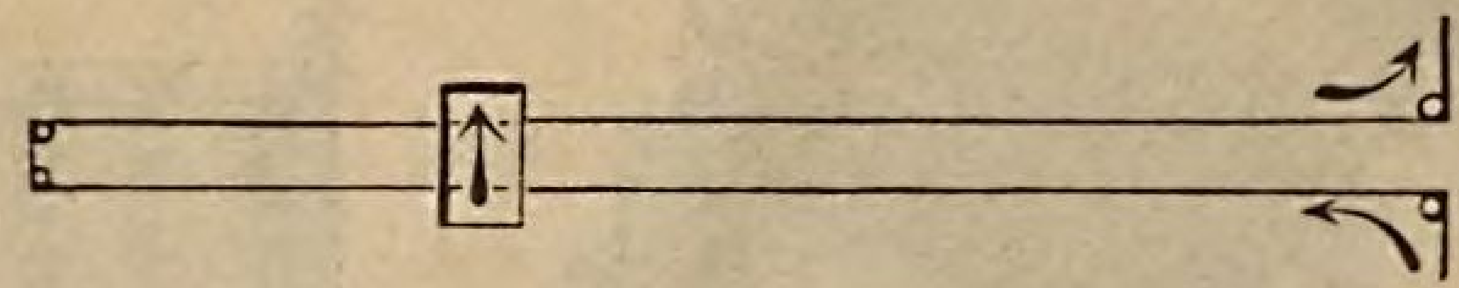


Fig. 154.

Drähten auf der Unterlage eine Millimeterskala anbringen, die Drahtstärke an mehreren Stellen sorgfältig messen und wird aus der Längenangabe des Schiebers auf der Skala und den für die Drahtwiderstände angegebenen Tabellen eine Genauigkeit der Grösse auf 5 bis 10 Prozent erreichen.

2) Walzenrheostat. (Fig. 155.) Man windet auf einen Cylinder von Holz oder Marmor oder eine Thonzelle, an die man Endscheiben von Holz aufgesiegelt und in die man ein Gewinde eingefeilt oder eingedreht hat, eine Spirale, deren Windungen etwa 2 mm von einander abstehen und schaltet mittels eines Rädchens, das sich auf einem starken Draht parallel mit der Längenachse der Walze verschieben lässt, mehr oder weniger Draht in den Stromkreis ein. Beliebige Stücke können in den Stromkreis eingeschaltet werden, wenn man die Walze um ihre Achse drehbar macht.

3) Die am häufigsten gebrauchte Rheostatenform ist der Kurbelumschalter (Fig. 156); er besteht, wie der Walzenrheostat, aus den Widerständen und der Schaltvorrichtung. Auf einem Brette oder zwischen Rahmen sind Spiralen von Eisen-, Neusilber- oder Kupferdraht ausgespannt und durch einfache Drähte verbunden. Von jedem unteren Ende führt ein Draht zu einem Kontaktknopf. Diese Metallknöpfe sind so auf dem Umfang eines Kreises befestigt, dass eine

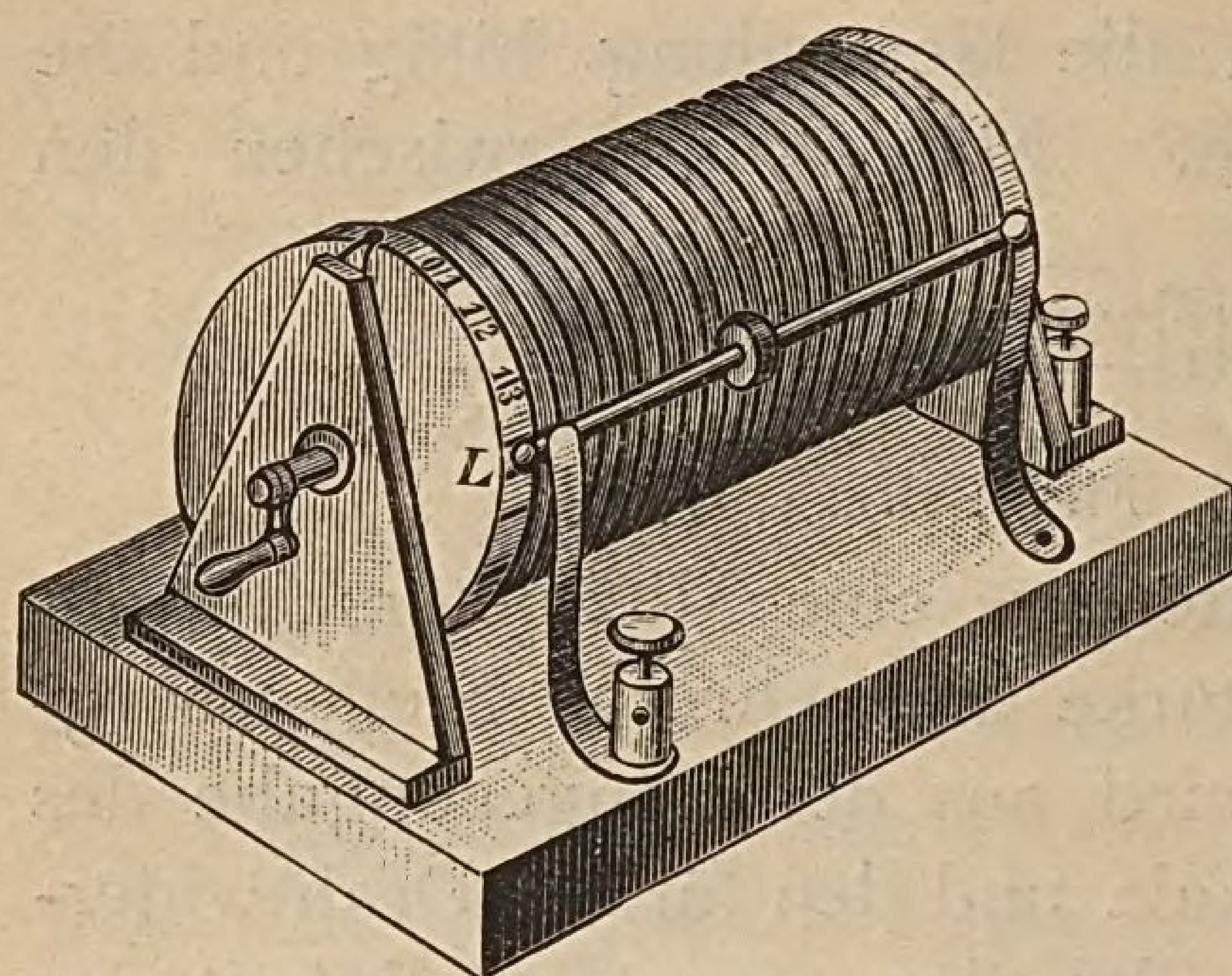


Fig. 155.

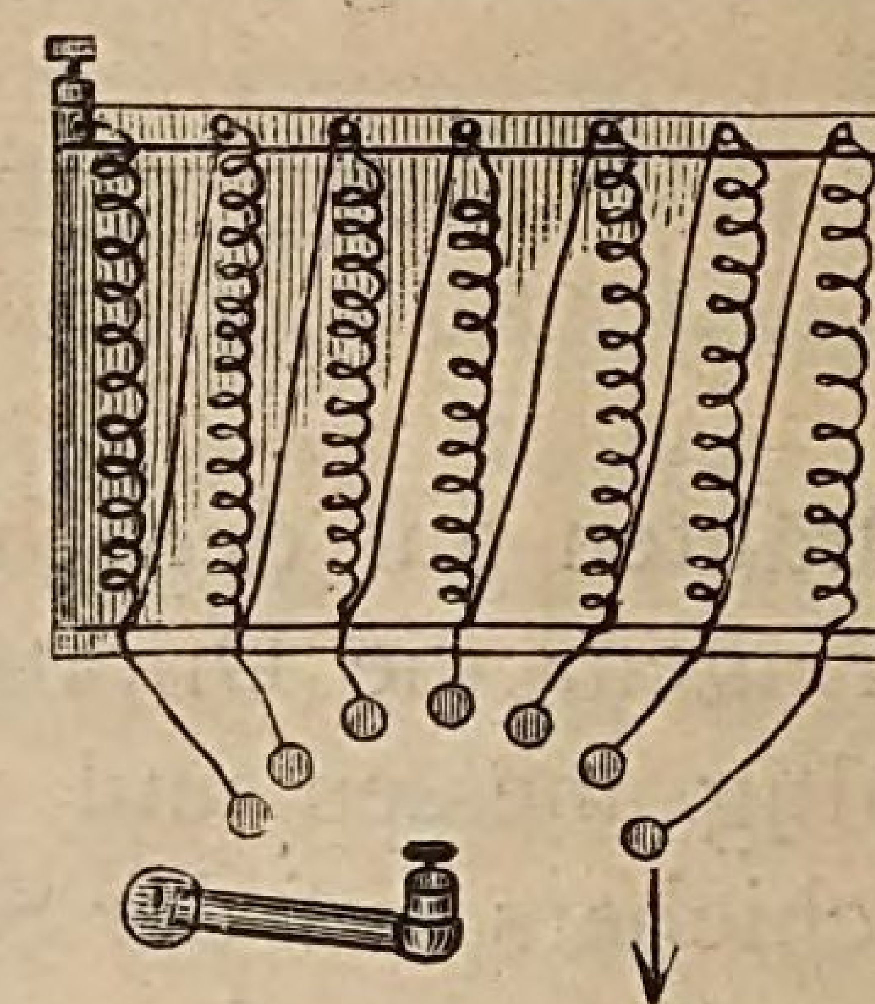


Fig. 156.

um den Kreispunkt drehbare Feder die Widerstände von links nach rechts der Reihe nach in den Stromkreis ohne Unterbrechung einschaltet. Für eine Nebenschlussmaschine mittlerer Grösse ist ein Kurbelrheostat von etwa 8 Ohm Widerstand nötig.

Ein Doppelkurbel-Rheostat nach O. Erhardt.

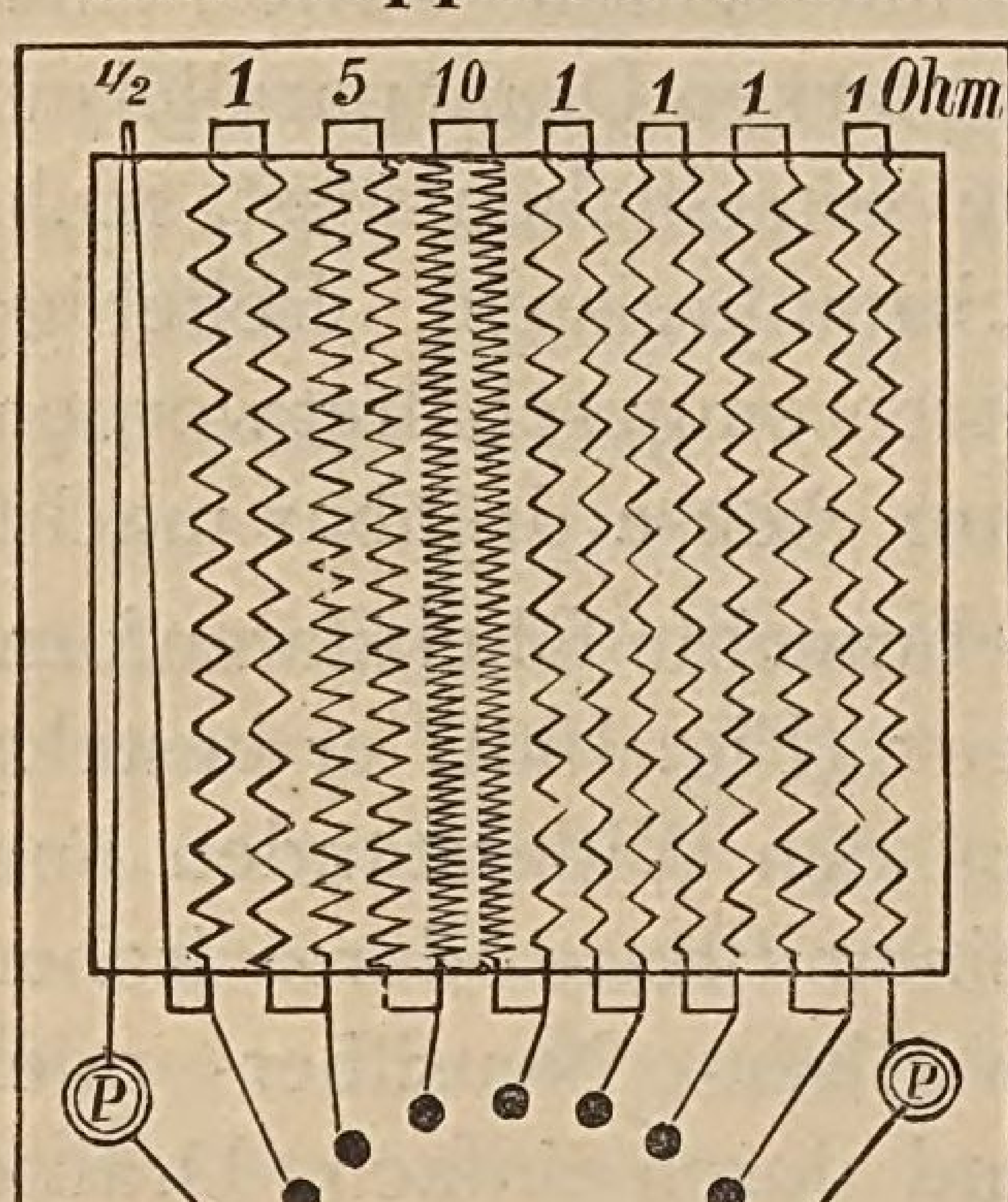


Fig. 157.

Fig. 157. Die Kurbeln stehen am Scharnier in Berührung. P und P′ sind Klemmen zur Befestigung der Leitungsdrähte. Durch die Kurbeln werden bei irgend einer Stellung derselben diejenigen Widerstände des Rheostaten ausgeschaltet, welche zwischen den mit den Kurbeln in Berührung stehenden Kontakt-

knöpfen liegen. Die Widerstände, welche bei der Anordnung der Abbildungen eingeschaltet werden können, sind in $\Omega = \frac{1}{2}$, 1, $1\frac{1}{2}$, 2 . . . $4\frac{1}{2}$, $5\frac{1}{2}$, $6\frac{1}{2}$. . . $10\frac{1}{2}$, 14, $14\frac{1}{2}$. . . $20\frac{1}{2}$. Der Sprung von $10\frac{1}{2}$ auf 14 kann verkleinert werden, wenn man zwischen 1 und 5 noch mehrere Widerstandseinheiten einschaltet. Die Spiralen fertigt man aus Neusilberdraht, den man auf Holzcylinder von Bleistiftdicke windet und mehrere Wochen liegen lässt; sie haben nach dem Abwinden etwa 1 cm Weite.

Bifilare (zweifadige) Wickelung.

Wenn ein stromdurchflossener Leiter keine Wirkung auf ein Messinstrument ausüben soll, führt man ihn so, dass die eine Hälfte des Leiters die gleiche, aber entgegengesetzte Wirkung hat wie die andere. Dies wird dadurch erzielt, dass man den Draht von der Mitte aus aufspannt und aufwickelt, so dass beide Hälften des Drahts neben einander liegen. Die Erklärung dieses Verfahrens wird bei den Induktionserscheinungen folgen.

Widerstandsspulen werden bifilar auf Fadenrollen gewickelt. Man sorge dafür, dass nicht zu starke Ströme hindurch geschickt werden, da die isolierende Hülle leicht verkohlt. Häufig erhalten diese Spulen einen Ueberzug aus Paraffin, der zugleich als Schutzmittel gegen Verschiebung der Drähte dient. Bei solchen Rollen verwende man für (S. 273.)

1 Ω	Nickelindraht	von	1,3	bis	1	mm Durchm.
10 „	„	„	1	„	0,4	„ „
100 „	„	„	0,5	„	0,25	„ „
1000 „	„	„	0,25	„	0,10	„ „

Von dem zur Verwendung bestimmten Draht misst man den Widerstand von 1 m und berechnet darnach die erforderliche Länge. Dann wickelt man die halbe Länge von der Drahtrolle ab, biegt um und wickelt beide wohl umsponnenen Fäden zugleich auf und nimmt etwas mehr Draht als berechnet, so dass man bei der Messung allmählich abschneiden kann. Die genauen Längen bezeichnet man durch einen Messerstrich; bis an diesen wird dann ein dickes Stück Kupferdraht angelötet.

Widerstandskasten.

(Fig. 157b.) Man stellt mit Hilfe des später beschriebenen Differentialgalvanometers oder der Brücke Widerstände her von

0,1	0,2	0,2	0,5	
1	1	2	5	
10	10	20	50	
100	100	200	500	
1000	1000	2000	5000	Ohm.

I. Die an die Enden der Rollen r r . . . angelöteten Kupferdrahtstücke K K . . sind an Messingklötze m m . . . geschraubt. Diese Messingklötze sind durch Zwischenräume von einander getrennt und auf eine starke Hartgummiplatte von unten mit Messingschrauben befestigt. In die konischen Löcher zwischen je zwei Messingklötzen kann ein Messingstöpsel mit Reibung eingesetzt werden. Diejenigen Rollen, zwischen denen ein Stöpsel eingesteckt ist, sind aus der Leitung ausgeschaltet. Mehrere Widerstandsreihen werden durch die Brücken B verbunden.

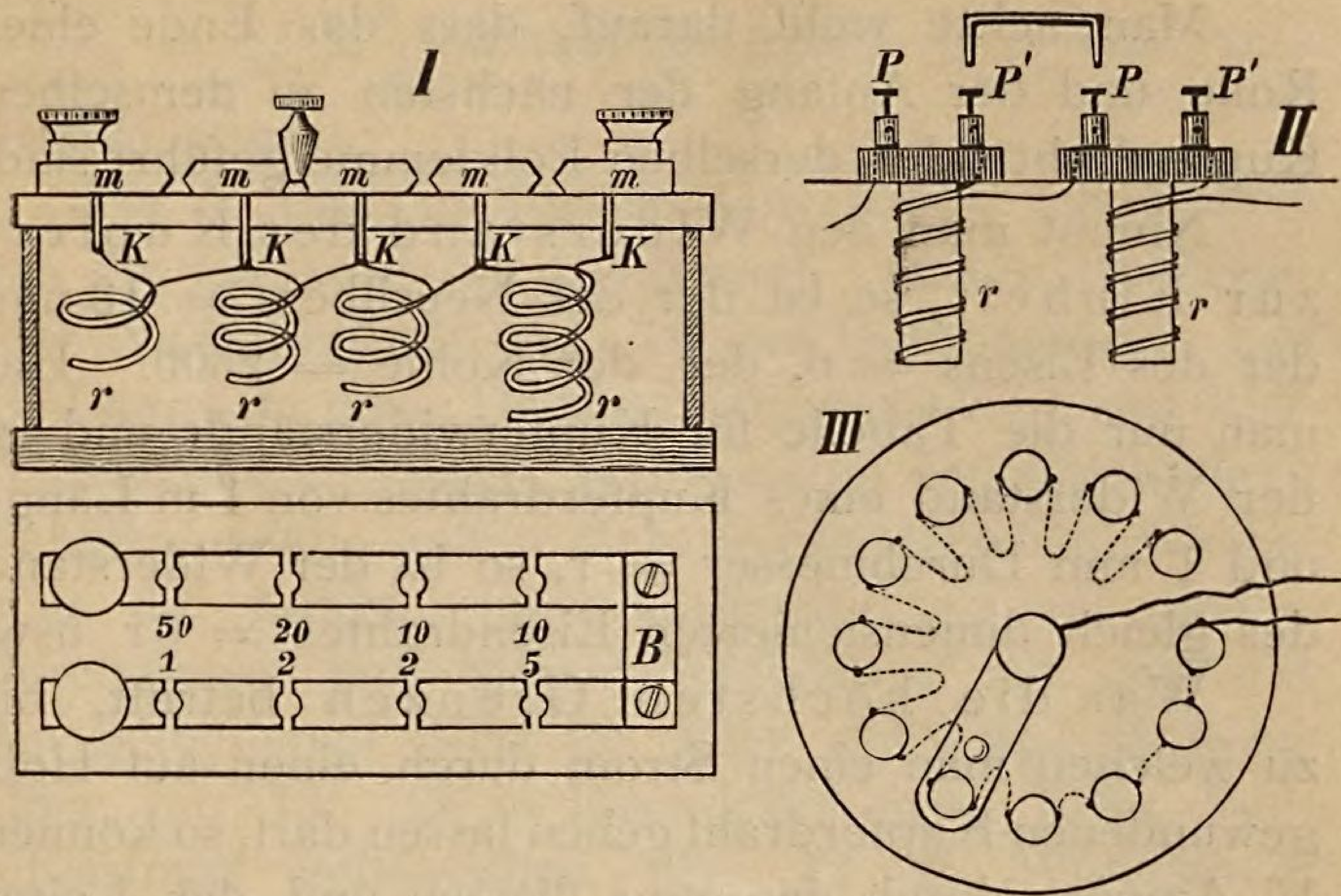


Fig. 157 b.

Dies ist die Siemens'sche Anordnung. Dimensionen der Messingklötze: breit 13 mm, lang 29 mm, dick 8 mm. Stöpsel 6 bis 7 mm Durchmesser. (Fig. 157 b I.)

II. Eine leichtere, wenn auch etwas weniger genaue Konstruktion ist in II dargestellt. Die Rollen sind an das Deckbrettchen eines Kästchens geleimt, die Drahtenden durch passende Bohrungen geführt und unter die Polklemmen P P' . . . gelegt. Durch 1,5 mm dicke Drahtbügel werden die Polklemmen verbunden. Um alle Verbindungen ausführen zu können, braucht man einen grösseren Satz solcher Bügel. In eine Seitenwand des Kästchens setzt man Glas ein.

III. Zeigt eine kreisförmige Anordnung der Rollen; die Drahtenden sind an Knöpfe gelötet, über welche eine Kurbel gleitet und so die Widerstände einschaltet.

Man achte wohl darauf, dass das Ende einer Rolle und der Anfang der nächsten zu demselben Kupferdraht oder derselben Polklemme geführt sind.

Nimmt man den Widerstand des Kupfers zur Einheit, so ist der des Neusilbers = 13 und der des Eisens = 6, der der Kohle = 2500. Hat man nur die Tabelle für Kupferwiderstände und ist der Widerstand eines Kupferdrahtes von 1 m Länge und 1 mm Durchmesser = r, so ist der Widerstand des gleich dimensionierten Eisendrahtes = 6 r usw.

Was die höchsten Grenzen betrifft, bis zu welchen man einen Strom durch einen auf Holz gewundenen Kupferdraht gehen lassen darf, so können 15 Ampère durch das mm^2 fliessen und der Leiter hält sich auf 60^0 C.; Eisen und Neusilber ertragen nur 5 Ampère auf das mm^2.

Für Flüssigkeitswiderstände

empfiehlt sich am meisten eine schwache Zinkvitriol-Lösung. Einen kleineren Widerstand bekommt man durch Gegenüberstellen von zwei grossplattigen Zink-Elektroden mit geringem Abstand, grössere Widerstände in cylindrischen hohen Gefässen, in denen eine Elektrode auf dem Boden liegt, während die andere gegen jene in der Höhe verschoben wird. Für dauernden Gebrauch ist diese Art von Rheostaten nicht zu empfehlen. Der Widerstand eines cm^3 bestleitender Schwefelsäure beträgt bei 18^0 C. (Celsius) 1,37 Ω.

Eine Aufgabe zur Berechnung eines Rheostaten.

Man soll einen dauernden Rheostaten konstruieren, der, mit einer Glühlampe von 18 V und 1,5 Amp.

$\left(\frac{18}{1,5} = 12\ \Omega\right)$ parallel geschaltet, diese beim Auslöschen ersetzt.

Für 5 Amp. genügt ein Querschnitt von 1 mm^2, also für 1,5 Amp. $\frac{1,5}{5} = 0,3\ mm^2$. Das ist ein Eisen- oder Neusilberdraht von 0,6 mm Durchmesser. Um die Länge für einen Draht von 0,6 mm Dicke und 12 Ω Widerstand zu finden, sucht man in den zugehörigen Tabellen nach; sollten diese nicht ausreichen, schlägt man die Länge eines Kupferdrahtes von diesem Durchmesser und diesem Widerstand auf und teilt den gefundenen Wert für Eisen mit 6 und für Neusilber mit 13. 36 m Eisendraht oder 16 m Neusilberdraht entsprechen hier 12 Ω Widerstand. Denselben Widerstand erhält man mit einem Kohlenstift von 1 mm Durchmessser und 25 cm Länge. Aber kleine Fehler in den Abmessungen bedingen dann grosse Fehler in den Widerständen.

Anwendungen der Rheostaten.

1) Unsere vorige Aufgabé zeigt zugleich eine Verwendung der Rheostaten, nämlich den Ersatz für eine ausgelöschte Glühlampe.

2) Zu der Beleuchtung mit Batterien hat der Rheostat den ersten Stoss bei Stromschluss zu vernichten. Dieser Stoss dauert nur einige Augenblicke, könnte aber den Lampen gefährlich werden.

3) Die Bügel der Glühlampen verlieren allmählich von ihrer Leitungsfähigkeit und verlangen eine höhere elektrische Energie, um auf derselben Lichtstärke erhalten zu bleiben. Man schaltete ihnen darum früher einen Rheostaten vor, um beim Beginn ein Uebermaass des Stromes verhindern zu können.

4) Die Bogenlampen bedürfen zum ruhigen Brennen eines Vorschaltwiderstandes, dessen Grösse sich nach der Spannung und Stromstärke richtet, mit welchen die Lampe brennen soll. Bei 100 Volt Spannung, 6 Amp. Stromstärke und zwei Lampen hintereinander werden 3,5 Ohm vorgeschaltet.

5) Die Galvanoplastik und Galvanostegie erheischen konstante Ströme; hier insbesondere sind die Kurbelrheostate gebräuchlich.

6) Sollte das beschriebene Tangenten-Voltmeter in seinem feinen Kupferdraht nicht den erforderlichen Widerstand besitzen, so ergänzt man diesen durch vorgeschalteten Neusilber- oder Nickelindraht.

7) Ueberhaupt muss bei vielen Messungen und Messinstrumenten ein Rheostat benutzt werden.

8) Bei den Dynamomaschinen werden wir weitere Anwendungen der Rheostaten aufzuzählen haben.

Abschmelzvorrichtungen

trifft man nach Edison in elektrischen Anlagen an, in denen der Strom eine veränderliche Energie besitzt. Sie sind dazu bestimmt, den Strom automatisch (selbstthätig) zu unterbrechen, falls sich seine Stärke in dem Maasse steigert, dass aus dieser Steigerung eine Gefahr entstehen könnte. Sie verhindern somit eine übermässige Erhitzung der Leitungsdrähte, die Verbrennung der Isoliermittel, Feuersbrünste, dienen aber nicht zum Schutze der Lampen.

Sie bestehen im allgemeinen aus einem Draht oder Blechstreifen von einigen cm Länge aus leicht schmelzbaren Metallen oder einer Legierung der-

selben, die bei einer gewissen Stromstärke (16 Amp. auf das mm^2 Querschnitt) abschmelzen. Die folgende Tabelle giebt hierüber nähere Auskunft.

Leicht schmelzbare Legierungen.

Schmelz-temperatur	Blei	Zinn	Cadmium	Wismut.
95,0° C.	250	500		100
89,5° „	396		71	532
76,5° „	344	94	92	500
68,5° „	260	148	70	520
65,8° „	249	142	108	501
63,0° „	267	133	100	190

Um diese Legierungen zu bereiten, schmilzt man in einem Bade von Stearin (370°) der Reihe nach das Blei (325°), das Cadmium (315°), das Wismut (160°) und das Zinn (230°), indem man Sorge trägt, die letzteren während der Erkaltung zuzusetzen.

(Fig. 158.) Der Querschnitt des Schmelzdrahtes wird so berechnet, dass er abschmilzt, wenn die elektrische Energie das Doppelte von der erreicht für die er ursprünglich bestimmt ist. Der Sicher-

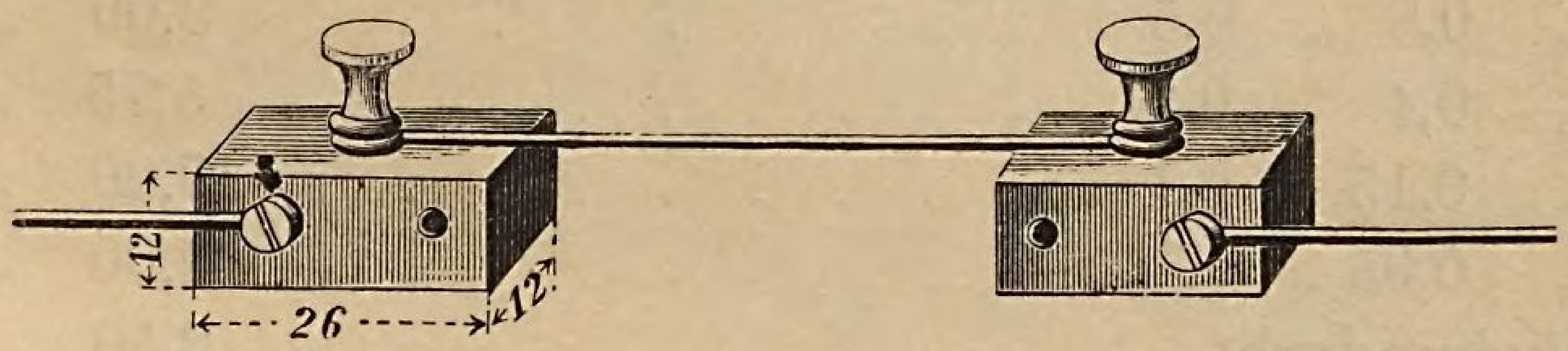


Fig. 158.

heitsstreifen wird zwischen zwei auf Porzellan oder Schiefer befestigten Polklemmen in die Leitung eingefügt, entweder bloss in die Hin- oder auch in die

Rückleitung; einpolig und zweipolig. Die Länge der Drähte betrage etwa das 300fache des Durchmessers. Durch die Einschaltung eines Abschmelzdrahtes wird die Spannung vermindert (etwa um 0,083 Volt pro Sicherung) und der Widerstand einer Leitung erhöht, denn der gesamte Widerstand mehrerer Widerstände hintereinander ist gleich ihrer Summe. $R = r_1 + r_2 + r_3 \ldots.$

Für Blei und 10 cm Länge kreisrunder Drähte:

Amp.	Durchmesser in mm.
5	0,55
7	0,70
10	0,90
11	1,00

Preise der Leitungsdrähte.

Zwar wechseln die Kupferpreise ungemein; aber oft wünscht man einen annähernden Ueberschlag über eine elektrische Anlage zu machen und hierfür dürften die folgenden Angaben genügen. Zu raten ist dennoch, sich Preiscourante von Fabrikanten kommen zu lassen.

Blanke Kupferdrähte, 97 bis 98% rein;

von 1,5 bis 0,9 mm Durchmesser das kg	2,50 Mk.
„ 0,8 „ 0,5	3,00 „
„ 0,4 „ 0,3	5,75 „
„ 0,15 „ 0,1	17,00 „
„ 0,05 „	64,00 „
Siliciumdraht	2,50 „

Bedeckte Drähte: zweifach Baumwollüberzug von 0,9 bis 1,5 mm Durchmesser 2,20 bis 2,50 Mk., Baudraht für Hausleitungen 0,9 bis 2 mm Durchmesser, zweimal mit Baumwolle umsponnen

und in Asphalt getränkt das kg 2,30 Mk.
gewachst „ 2,20 „
mit 2 Adern , . . . „ 2,50 „

L e i t u n g s s c h n ü r e: 2 Drähte mit Kautschuk umhüllt und mit Baumwolle übersponnen

1 mm^2 0,24 Mk. das m
1,5 „ 0,30 „ „ „
mit Seide übersponnen
1 mm^2 0,40 Mk. das m
1,5 „ 0,50 „ „ „

L e i t u n g s d r ä h t e für Läutwerke mit Guttapercha und Baumwolle umhüllt

0,8 bis 0,9 mm Durchmesser das kg 4,0 Mk.

Drähte einfach mit Seide umsponnen

	per kg		per kg
0,1 mm Durchm.	40 Mk.,	0,2 mm Durchm.	18 Mk
0,3	9 „	0,4	7 „
0,5	5 „	0,6	4,75 „
0,7	4,70 „	0,8	4,25 „
0,9	4,20 „	1,0	4,00 „

B l e i k a b e l, mit einfachem Bleimantel

mit 1 Ader das m 25 ₰, mit 2 Adern das m 35 ₰,
„ 3 Adern „ „ 45 „ „ 4 „ „ „ 60 „

mit doppeltem Bleimantel

mit 1 Ader das m 35 ₰, mit 2 Adern das m 50 ₰,
„ 3 Adern „ „ 60 „ „ 4 „ „ „ 80 „

Bei einem Durchmesser des blanken Drahtes von

	0,8 mm	0,9 mm	1 mm
enthält 1 kg Wachsdraht	175 m	145 m	125 m
Guttaperchadraht mit Baumwolle	155 m	110 m	90 m.

Kapitel VIII.

Elektromagnete: Konstruktion, Berechnungen. 1825. Brewster u. Sturgeon.

(Figuren bei Haustelegraphie, Elektromotoren und Dynamomaschinen.)

Begriff der Elektromagnete.

Windet man um einen weichen Eisenstab eine Spirale aus übersponnenem Kupferdraht und sendet einen elektrischen Strom durch die Spirale, so erlangt das Eisen einen temporären Magnetismus, d. h. es wird so lange ein Magnet, als es vom Strome durchflossen ist; wogegen Stahlmagnete ihre Eisen und Nickel anziehende Kraft dauernd besitzen und darum permanente Magnete heissen. Ist das gebrauchte Eisen nicht sehr weich, so bleibt auch nach dem Verschwinden des Stromes aus der Spirale ein Teil des erzeugten Magnetismus zurück. Man nennt diesen zurückbleibenden Magnetismus gewöhnlich r e m a n e n t e n Magnetismus (re zurück, manēre bleiben).

Formen und Anfertigung der Elektromagnete.

Magnetischer Widerstand.

Je nach dem Zwecke, dem die in der Wissenschaft und dem praktischen Leben so allseitig ge-

brauchten Elektromagnete dienen sollen, haben sie mannigfache Gestalten bekommen; aber alle sollen aus weichem Eisen hergestellt sein.

a. Eisen wird weich gemacht, indem man es über Holzkohlenfeuer bis zur Weissglut erhitzt und hierauf in der Asche (Lösch) sehr langsam abkühlen lässt. Weil es bei diesem Verfahren sich mit Zunder d. h. Eisenoxydul überzieht, das ihm wieder eine gewisse Härte verleiht, glüht man es in Lehm gehüllt und lässt es in dieser Hülle wieder sehr langsam erkalten. Die Lehmschicht erhält leicht Risse, darum besteht die beste Art darin, dass man das blank geputzte Eisen in luftdichte Gusseisengefässe mittels Lehm oder Kohlenpulver verpackt und hierin ausglüht. Den Zunderüberzug kann man indes durch verdünnte Salzsäure abbeizen, worauf man das Eisen abwäscht und abtrocknet.

b. Ein gerader weicher Eisenstab wird direkt mit einer oder mehreren Lagen von dicht aneinander gerückten Windungen eines isolierten Kupferdrahtes umwickelt. (Vergl. Jensen-Bell.) Ist aber der Draht nicht wohl umsponnen, so können blanke Stellen auf dem Eisen aufliegen und Kurzschluss verursachen, d. h. der Strom überspringt die zwischen den blanken Stellen liegenden Windungen; der Draht ist auch zu andern Zwecken nicht leicht verwendbar. Man wickelt ihn daher gewöhnlich auf Karton oder Holzrollen, wie den Faden auf Spulen, und schiebt diese Rollen mit leichter Reibung über die Eisenkerne. Dabei lässt man das Eisen auf beiden Seiten 5—10 mm über die Rolle hervorstehen. (Fig. 163.)

c. Die häufigst gebrauchte Form der Elektro-

magnete ist die Hufeisenform. Man biegt ein Stück Rundeisen von 1—2 cm Dicke in diese Form oder setzt so zusammen: in ein Stück Flacheisen von 5 cm Länge, 1½ cm Breite und 5 mm Dicke bohrt man in 3 cm Entfernung von einander zwei Löcher von 5—6 mm Durchmesser, feilt einen Rundstab von 1 cm Dicke und 4 cm Länge einerseits so ab, dass der entstandene Zapfen knapp in sein Bohrloch passt und ganz wenig darüber hervorsteht; hierauf wird vernietet, d. h. das hervorstehende Stück des Zapfens breit geschlagen und so auseinander getrieben, dass Flach- und Rundeisen nur ein Stück bilden; endlich wird sorgfältig ausgeglüht. (Fig. 162.)

Will man diesen Elektromagneten bequem auf seinem Brett horizontal befestigen, so biegt man das Flacheisen im rechten Winkel ab, setzt in den einen Teil die Eisenstäbe und bohrt in den andern zwei Löcher für die Holzschrauben. Gut ist es, für die Holzschrauben Schlitze zu machen, damit man in diesen den Elektromagneten etwas verschieben kann.

d. Magnetischer Widerstand. Wir haben schon Kap. III angedeutet, dass man annehme, die magnetischen Kraftlinien eines Stahl- oder Elektromagneten gehen infolge einer magnetmotorischen Kraft beständig von dem Nordpol zum Südpol über, dringen durch den Magneten hindurch und bilden so einen dauernden magnetischen Kreisstrom. Dieser magnetische Strom, auch Kraftstrom genannt, erleidet an nicht gut vernieteten, überhaupt an nicht vollkommen in metallischer Verbindung stehenden Stellen des Eisens einen Widerstand und wird daselbst, gerade so wie ein elektrischer Strom bei

schlechter Berührung, geschwächt. Bezeichnet man den Kraftstrom oder die Anzahl aller Kraftlinien, die vom Nord- zum Südpol kreisen, mit $\mathfrak{S}$, die bewegende Kraft mit $\mathfrak{F}$ (Bosanquet 1883) und den magnetischen Widerstand (resistance) mit $\mathfrak{R}$, so ist $\mathfrak{S} = \frac{\mathfrak{F}}{\mathfrak{R}}$. Diese Formel entspricht dem Ohm'schen Gesetz.

Der elektrische Widerstand (Kap. VII, Widerstände) eines prismatischen Leiters kann aus seiner Länge L, seinem Querschnitt Q und seiner Durchlässigkeit μ berechnet werden. Dieser Widerstand wächst mit der Länge und nimmt ab mit dem Querschnitt; also $\mathfrak{R} = \frac{L}{Q\mu}$.

Beispiel. Eine Eisenstange ist 100 cm lang, hat 4 cm² Querschnitt und ist zu einem Grade magnetisiert, dass $\mu = 320$; dann ist $\mathfrak{R} = 0{,}078$.

Der Widerstand eines magnetischen Stromkreises besteht gewöhnlich aus einer Anzahl hintereinander geschalteter Widerstände. Liegt auf einem Hufeisenmagneten der Anker dicht auf und bezeichnet man für den Elektromagneten die Länge des gebogenen Eisens mit L_m, den Querschnitt mit Q_m und die Durchlässigkeit mit μ_m und gelten für den Anker L_a, Q_a und μ_a; so ist $\mathfrak{R} = \frac{L_m}{Q_m \mu_m} + \frac{L_a}{Q_a \mu_a}$.

Benennungen; Aufgabe und Verwendung der Elektromagnete.

An einem Elektromagneten (Fig. 159) unterscheidet man das Joch i, die Schenkel oder Kerne K, das vorgelegte weiche Eisenstück oder den Anker AR,

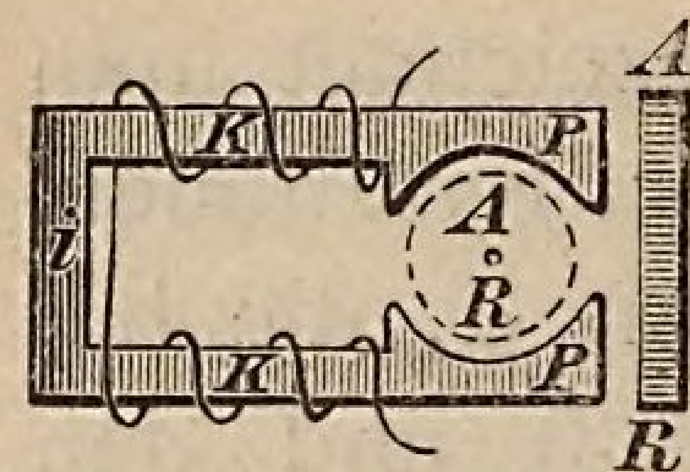


Fig. 159.

ferner die Rollen, welche über die Kerne gewunden oder geschoben sind und den stromleitenden Kupferdraht enthalten, und die kreisrund ausgebohrten Verlängerungen der Schenkel oder die Polschuhe P; in letzterem Falle ist der Anker ein Ring oder ein Cylinder, der zwischen den Polschuhen rotiert. Grössere Elektromagnete heisst man auch Feldmagnete, weil sie das magnetische Feld für den Anker bilden.

Die Aufgabe der Magnete ist entweder, den Anker während des Stromschlusses anzuziehen und herbeizuziehen, oder, wie bei den Dynamomaschinen, in dem rotierenden Anker elektrische Ströme zu erzeugen. Ihre Verwendung finden sie daher in Dynamomaschinen und Motoren, bei der Beleuchtung (Bogen- und Glühlampen), in der Telegraphie, bei Registrier- und Kontrollapparaten, im Signalwesen u. s. w.

Die Rollen für Elektromagnete

werden gewöhnlich aus wohl verleimtem und schellackiertem Karton mit Endscheiben aus Holz von 1 bis 2 cm Dicke oder ganz aus Holz, ähnlich wie Fadenspulen, angefertigt. Die Holzhülse muss möglichst dünn gedreht sein, weil der Strom um so stärkeren Magnetismus erregt, je näher er das Eisen umkreist.

Das Aufwickeln des Drahtes geschieht entweder von Hand oder auf ähnliche Weise wie das Aufwinden des Fadens auf seine Rollen; die Drähte legen sich dabei gleichförmig und dicht neben und über einander.

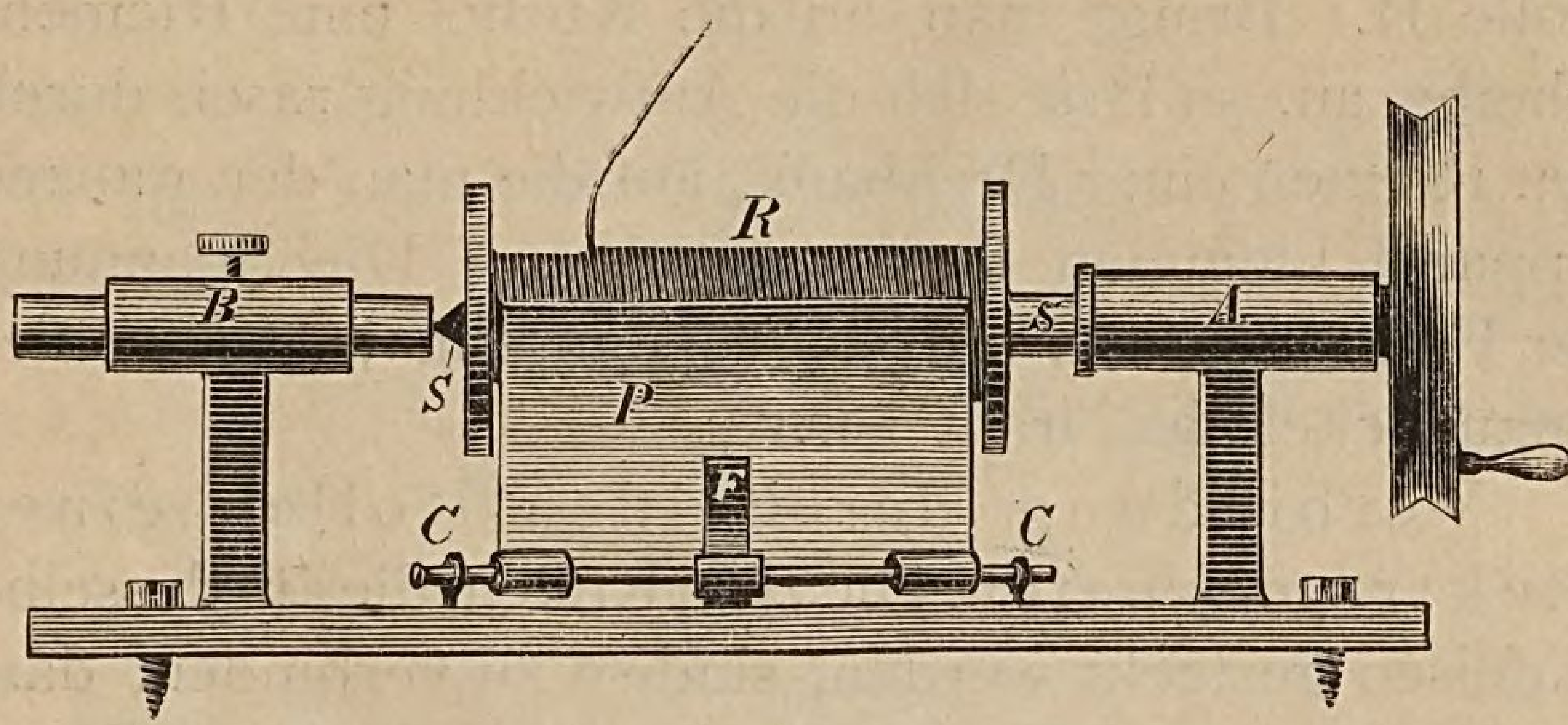


Fig. 160.

Wir beschreiben dafür eine einfache, leicht selbstanzufertigende Vorrichtung (Fig. 160a und 160b).

Die Rolle R wird auf eine Spindel S gesteckt (über die unter Umständen Papier gelegt wird), welche durch eine Kurbel k in der Führung A (ein Stück Messingrohr) umgedreht und in eine Vertiefung der Reitstockspindel B angedrückt wird. Die Feder F presst die Messingplatte P, welche um die Achse CC drehbar ist, gegen die Rolle. Von der Rolle R′ läuft der Draht durch die Gummiwalzen M auf die

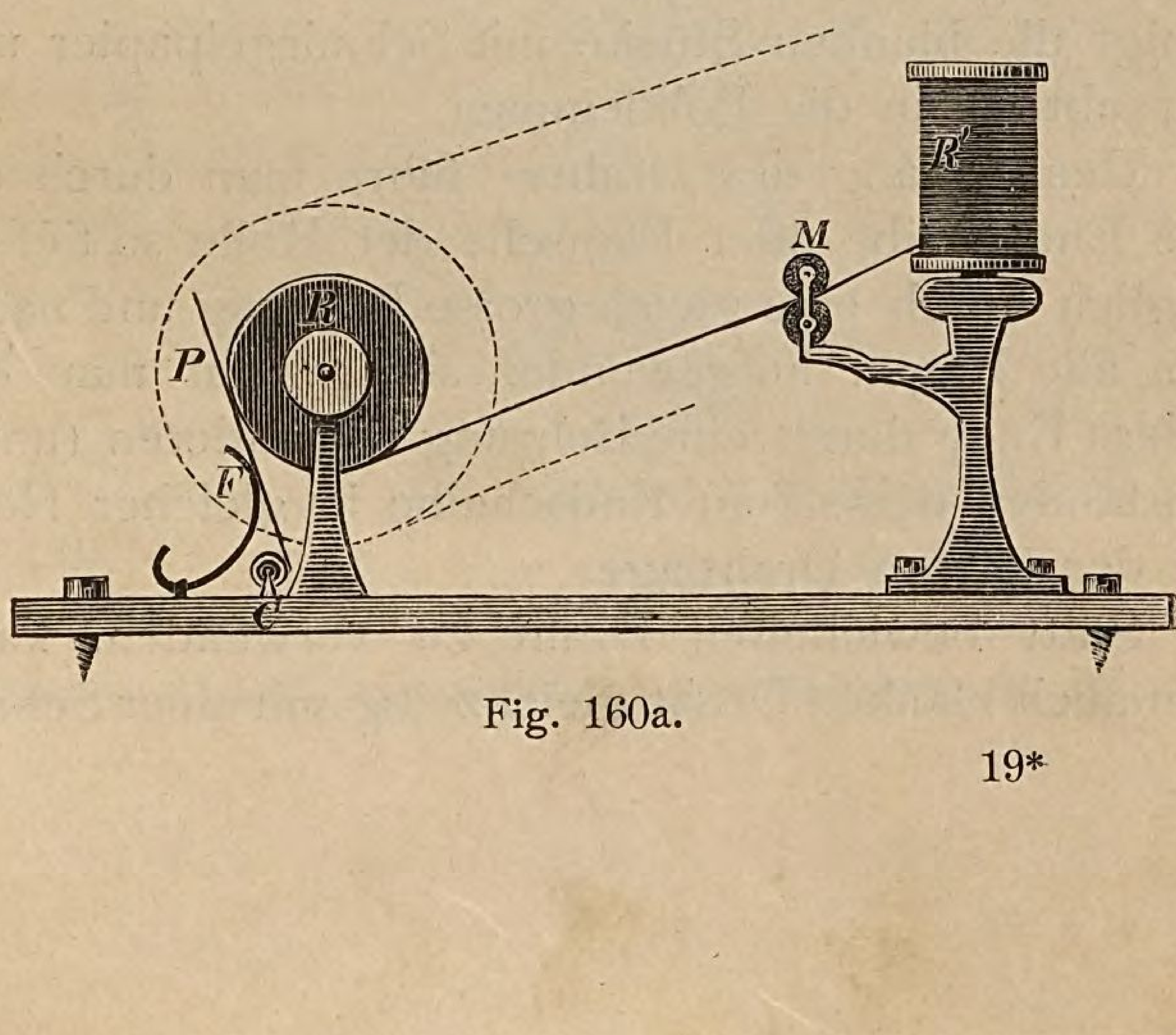


Fig. 160a.

Rolle R. Bringt man an die Kurbel eine Riemenscheibe an, so lässt sich die Aufwicklung rasch durch den Riemen einer Drehbank, auf die man den ganzen Apparat klemmen kann, ausführen. Die Spannung der Feder F muss um so grösser sein, je dicker der aufzuwickelnde Draht ist.

Verbindung der beiden Rollen eines Elektromagneten. Die zwei Rollen, die auf dasselbe Hufeisen gesteckt werden, sind so zu verbinden, dass der Draht von der Unterseite der einen Rolle zur Oberseite der andern übergeht in der Form des Buchstabens S. Wickelt man die beiden Rollen eines Hufeisen-Elektromagneten nach derselben Richtung, so verbindet man die inneren (unteren) Enden der Drähte. Nur in seltenen Fällen schaltet man beide Spulen nebeneinander, wie in der Telegraphie; bei Parallelschaltung ist die magnetisierende Kraft 2mal so gross als bei Reihenschaltung.

Die beiden freien Enden einer Rolle wickelt man über einem Bleistift zu einer Spirale von 3 bis 4 cm Länge auf, entfernt die Hülle 2 bis 3 cm weit, reinigt die blanken Stücke mit Schmirgelpapier und schraubt sie in die Polklemmen.

Den Anfang des Drahtes führt man durch die eine Endscheibe oder Flansche der Rolle so tief als möglich durch eine gleich grosse Bohrung und nachdem alle Lagen aufgewunden sind, zieht man das andere Ende durch eine Bohrung der anderen (unter Umständen derselben) Endscheibe in gleicher Höhe mit der letzten Drahtlage.

Statt bewickelten Draht zu verwenden, kann man auch blanken Draht gleichzeitig mit einer Schnur

von gleicher oder geringerer Dicke auf die Rolle winden, wodurch man zwei nebeneinander liegende Spiralen, eine leitende und eine nicht leitende, erhält. Jede Lage wird mit gefirnisstem Papier oder gefirnisster Leinwand bedeckt. Auf der Drehbank lässt man Schnur und Draht oder Band und Draht durch Führungen laufen. (Fig. 160b.)

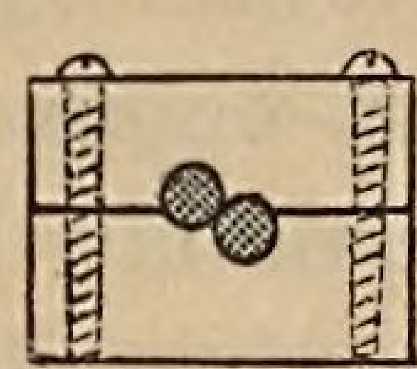


Fig. 160b.

Wie ein Elekromagnet auf Kurzschluss untersucht wird, ist bei den möglichen Fehlern eines Läutwerks angegeben.

D i e W i c k e l u n g s r i c h t u n g einer Spirale wird bestimmt nach den Regeln:

1) Eine Spirale ist rechts gewunden, wenn Anfang und Ende, von den Polen aus gesehen, in der Uhrzeigerbewegung verlaufen.

2) Eine Spirale ist rechts gewunden, wenn an der Stelle des Stromeintritts ein Südpol entsteht.

Regeln über die Konstruktion der Elektromagnete.

1) Länge und Dicke des Kupferdrahtes sind so zu wählen, dass der Widerstand der Elektromagnetrollen gleich ist dem äusseren Widerstand, galvanische Elemente mit eingeschlossen. In der Praxis soll der Widerstand der Spirale nur $\frac{3}{7}$ (nach einigen nur $\frac{5}{16}$) von dem ausserhalb liegenden Widerstand betragen. Es ist also die L i n i e, welche über die Wickelung der Rollen und die Gruppierung der Elemente entscheidet.

Für einen schwachen Strom hat man, um dieselbe magnetische Stärke zu erreichen, langen und

dünnen Draht, für einen beträchtlichen Strom kurzen und dicken Draht zu nehmen.

2) Bei gleichbleibender Stromstärke und Windungszahl oder der Zahl der Ampère-Windungen ist die Dicke des Drahtes ohne Einfluss auf die Magnetstärke; ebenso verhält es sich bis zu einer gewissen Grenze mit der Weite der Spirale, wofern der Kern aus der Spirale hervorragt, weil bei den weiteren Windungen die Seitenwirkung kräftiger ist als bei den engeren. Der Querschnitt des Drahtes werde proportional der Stromstärke gewählt. Vergl. Spannungsverlust und Grenzen der Erwärmung VII.

3) Gewöhnlich umwickelt man die Kerne in gleichen und auf einander folgenden Lagen; Bewickelung an den Enden, wie dies bei Telephonen geschieht, erzeugt schwankenden Magnetismus, erhöht aber die magnetische Stärke an diesen Stellen und gestattet schnelle Anziehungen (Telegraph von Hughes).

4) Da die magnetisierende Wirkung mit der Entfernung abnimmt, so kann der Fall eintreten, dass vermehrte Drahtlagen infolge ihres Widerstandes schädlich wirken. In Praxis soll die Wanddicke der Rolle höchstens dem Halbmesser des Kernes gleich sein; in der Regel beträgt sie $\frac{2}{5}$ davon.

5) Bei gleicher Stromstärke steht die Polstärke im umgekehrten Quadrat des Kerndurchmessers und in geradem Verhältnis zur Schenkellänge. Der längere Elektromagnet ist also für Fernwirkung im allgemeinen der stärkere, weil er die nötigen Drahtwindungen fassen kann. Bei kleineren Magneten soll sich der Durchmesser des Kernes zu seiner bewickel-

ten Länge verhalten wie 1 : 8. In neueren Dynamomaschinen findet man zur Verminderung des magnetischen Widerstandes das Verhältnis 1 : 3 und 1 : 2, weil hier die Aufgabe eine ganz andere ist.

6) Die Dimensionen des Eisenkernes müssen nach der EMK der Stromquelle und nach dem Widerstande, den sie zu überwinden hat, bestimmt werden. Eine hohe EMK überwindet den Widerstand eines langen Stromkreises auf langen und dünnen Schenkeln; bei kurzem Stromkreis und starkem Strome wählt man das Eisen kurz und dick. Vergl. No. 1 u. 5.

7) Der Widerstand der Rollen sei um so geringer, je kürzer die Stromschlüsse sind, da die Selbstinduktionsströme (darüber später) mit der Drahtlänge wachsen, der Eisenkern sei zerteilt oder bestehe aus aufgeschlitzten Röhren (Telegraphen-Anker).

8) Die Entfernung der Kerne von einander soll so gross sein, dass möglichst wenig Kraftlinien von einem Polschuh zum andern gelangen, welche den dazwischen liegenden Anker nicht schneiden. Die Entfernung von Pol zu Pol, geteilt durch die doppelte Entfernung eines Pols zum Eisenkern des rotierenden Ankers, soll möglichst gross, mindestens gleich 7 sein. Die Querschnittfläche des Joches wird $1\frac{1}{2}$ bis 2 mal so gross genommen als diejenige der Kerne. Bei schwachen Strömen wird der Anker durch nahe gestellte Pole, bei starken Strömen durch ferner gestellte Pole stärker angezogen.

9) Die Anziehungskraft zwischen den Polen und dem Anker wächst bei gleichbleibender Entfernung mit dem Quadrat der Stromstärke und dem Quadrat der Windungszahl, nimmt aber mit der Entfernung

ab und steigt mit der Oberfläche des Ankers. Bei sehr geringem Abstande steht die Einwirkung im geraden Verhältnis der Entfernung, bei grösserem Abstande nimmt sie in stärkerem Verhältnis ab, da nach Fig. 92a und 97 viele Kraftlinien sich zerstreuen und so nicht durch den Anker gehen.

10) Ein cylindrischer Anker wird bei gleicher Polstärke unter sonst gleichen Umständen weniger stark angezogen als ein prismatischer von gleicher Oberfläche, weil dieser mehr Kraftlinien aufnimmt.

11) Elektromagnete und Anker von gleicher Masse und Form geben für Anziehung gute Resultate.

12) Ein rasch beweglicher Anker soll leicht und sein Eisen sehr zerteilt sein; auch muss er zwischen Polschuhen rotieren, die ihn enge umschliessen. S. Dynamomaschinen.

13) Verteilung des Magnetismus im Querschnitte der Eisenkerne.

a. Der Magnetismus dringt um so tiefer in die Stäbe ein, je stärker die magnetisierende Kraft der Spule ist, wie man durch Versuche mit Eisenröhren von verschiedener Wanddicke und durch Abreissen eines zugespitzten eisernen Stabes von verschiedenen Punkten einer Polfläche gefunden hat.

b. Jede Schichte des weichen Eisenkernes hat einen Sättigungspunkt, d. h. eine Vergrösserung der magnetisierenden Kraft bringt keine Erhöhung der Magnetstärke mehr hervor; diesem Sättigungspunkte nähern sich die äusseren Schichten am schnellsten. Bei schwächeren magnetisierenden Kräften bleibt der Kern ganz unmagnetisch. Darauf be-

ruht die Verwendung von massiven und hohlen Eisenkernen bei verschiedenen magnetisierenden Kräften.

Giebt man einer Röhre am hinteren Ende einen nicht zu kurzen eisernen Zapfen, so erreicht sie beinahe die Magnetstärke des massiven Kernes; ein über die Röhre geschobener Ring verstärkt nicht.

Die Wandstärke der Röhre soll mindestens $\frac{1}{4}$ des Durchmessers betragen.

c. Schiebt man über einen mit der Spirale umwundenen Eisenstab eine Eisenröhre mit Endplatte, so erhält man eine Art Hufeisenmagnet, dessen Tragkraft, aber nicht Fernwirkung, ungefähr dreimal so gross ist als die des Eisenkernes allein.

d. Lange und dünne Stäbe erreichen nach (b) den Sättigungspunkt schneller als kurze und dicke von gleicher Masse.

14) Remanenter Magnetismus. Selbst das weichste und fein zerteilte Eisen behält von dem Magnetismus zurück, den es unter dem Einfluss der Magnetisierungsspirale erlangt hat; man spricht daher von magnetischer Trägheit und Verspätung des Magnetismus (Hysterēsis).

a. Massive und harte Kerne behalten viel remanenten Magnetismus.

b. Der remanente Magnetismus ist um so grösser, je länger der Eisenstab im Verhältnis zu seiner Dicke ist, weil die Pole ihren entmagnetisierende Kraft weniger weit ausüben können.

c. Der remanente Magnetismus ist bei plötzlichem Öffnen des Stromes geringer als bei allmählichem.

15) Magnetstärke und wiederholte Magnetisierungen.

a. Wird ein Eisenstab zum erstenmal durch eine Spirale magnetisiert, so wächst bei schwächeren Strömen die Magnetstärke schneller als die anwachsenden Stromstärken.

b. Dieses schnellere Anwachsen zeigt sich bei längeren Stäben stärker als bei kürzeren (14 b).

c. Dieses schnellere Anwachsen der Magnetstärke wird bei wiederholten Magnetisierungen immer schwächer.

16) Vom Strom durchflossene Spule und ihre Einziehungen:

a. Die Kraft, mit der ein Stahlmagnet in eine Spirale hineingezogen wird, ist ziemlich genau der Stromstärke und der Windungszahl der Spirale proportional.

b. Die Kraft, mit der ein weicher, nicht gesättigter Eisenstab in eine Spirale hineingezogen wird, ist nach Hankel dem Quadrat der Stromstärke und dem Quadrat der Windungszahl proportional. Die gesamte magnetisierende Wirkung auf ein in eine Spule eingeführtes Stück Eisen ist gleich $\frac{4}{10}\pi$ mal der gesamten Anzahl der Ampère-Windungen ($\pi = 3,14$).

17) Wird bei einem zweischenkeligen Elektromagneten nur ein Schenkel mit einer Drahtrolle umgeben, so wirkt er für eine bestimmte Anzahl von Windungen beinahe eben so stark, als wenn beide Schenkel umwickelt sind. Das Joch kann kürzer, die beiden Schenkel können näher zusammengebracht werden als bei zwei Spulen; mithin wird auch die Länge des magnetischen Kreises verkürzt. Anwendung bei Läutwerken und Fallklappen.

18) Sehr schnell wirkende Elektromagnete sind

möglichst klein, haben beblätterte Kerne, geringe Kupfermengen und sind hauptsächlich an den Polenden bewickelt. S. Nro. 3.

19) Eisenkerne für Wechselströme müssen aus dünnen, gefirnissten Drähten oder Blättern bestehen, damit der Umlauf inducierter Wirbelströme innerhalb der Eisenmassen verhindert wird. Ferner sollen alle Rahmen oder Gestelle, die geschlossene Kreise um die Kerne bilden, zerteilt oder durch nichtleitendes Material getrennt werden.

20) Ein Wechselstrom erzeugt in einer Rolle ein wechselndes magnetisches Feld. Ein in die Rolle geschobener Eisenkern muss daher wechselnde Magnetisierungen erleiden. Solche Kerne müssen zerteilt sein, um Wirbelströme zu vermeiden. Kupferscheiben, auf deren Pole gelegt, werden nach Elihu Thompson abgestossen.

21) Jedes cm^2 Oberfläche kann, wenn 1^0 C. über die umgebende Luft erwärmt, etwa 0,0029 Watt zerstreuen. Nimmt man 50^0 C. über die umgebende Luft als sichere Grenze der Temperaturerhöhung, hat der Elektromagnet den Widerstand r und eine Oberfläche $= s\ cm^2$, so ist der höchste zulässige Strom

$$= 0{,}38 \sqrt{\frac{s}{r}} \text{ Amp.}$$

Die magnetmotorische Kraft.

Der magnetische Einheitspol ist derjenige Pol, der einen ähnlichen Pol in der Entfernung von 1 cm mit der Kraft von 1 Dyn abstösst (1 g-Gewicht = 981 Dyn).

Denkt man sich um einen Einheitspol eine Kugel von 1 cm Radius beschrieben, so ist die Kugelober-

fläche $= 4 \cdot 1^2 \cdot \pi \text{ cm}^2 = 4 \pi \text{ cm}^2$ und durch jedes cm^2 geht eine Einheitslinie senkrecht hindurch; von einem Einheitspol gehen also $4 \pi = 4 \cdot 3{,}14 = 12{,}56$ Einheitslinien aus.

Ein elektrischer Strom von der Einheitsstärke J ist magnetisch gleichwertig mit dem magnetischen Einheitspol; es gehen somit auch vom Einheitsstrom 4π Kraftlinien aus.

Ein Ampère ist der 10. Teil der Stromeinheit im absoluten System (Kap. XVII), folglich erzeugt ein Amp. $\frac{4 \pi}{10} = 1{,}256$ Kraftlinien.

Nach der Erfahrung hat ein Strom von 10 Amp. in 50 Windungen einer Spule dieselbe magnetische Wirkung wie ein Strom von 5 Amp. in 100 Windungen oder von 1 Amp. in 500 Windungen. Die Produkte $10 \cdot 50 = 5 \cdot 100 = 1 \cdot 500$ bezeichnet man als Ampère-Windungen.

1 Amp. erregt also auf 1 cm Länge $\frac{4 \pi}{10} = 0{,}4\pi$ Einheitslinien, somit erzeugen J Ampère in N Windungen $\frac{4 \pi}{10}$ J N Einheitslinien. Man bezeichnet dieses Produkt als magnetisierende oder magnetmotorische Kraft mit $\mathfrak{F}$ (S. 289).

Berechnung der erregenden Kraft.

Führt man in die Formel $\mathfrak{S} = \frac{\mathfrak{F}}{\mathfrak{R}}$ für $\mathfrak{F}$ den Wert $\frac{4 \pi}{10}$ J N ein, so ist der magnetische Kraft-

strom $\mathfrak{S} = \frac{4\,\pi \cdot J \cdot N}{10\left(\frac{L_a}{Q_a\,\mu_a} + \frac{L_m}{Q_m\,\mu_m} + \frac{2\,L_l}{Q_l}\right)}$, worin $\frac{2\,L_l}{Q_l}$ den Luftwiderstand zwischen den Elektromagneten und den um L_l entfernten Anker oder zwischen den Polschuhen und dem Ankereisen bezeichnet; μ fällt hier weg, da die Durchlässigkeit der Luft als 1 angenommen wird.

Gewöhnlich wünscht man aber die Ampère-Windungen J N zu finden, die einen gegebenen Kraftstrom durch einen gegebenen Stromkreis treiben sollen. Zwei Schwierigkeiten treten hier auf. Die Durchlässigkeit des Eisens hängt von dessen Sättigungsgrad ab; es sind also die zugehörigen Werte von μ zu finden. Es sollen z. B. 1 000 000 Kraftlinien in einer Eisenstange von 80 cm² Querschnitt erregt werden; es kommen somit auf 1 cm² 12 500 $= \mathfrak{B}$; nach der folgenden Tabelle ist also $\mu = 1247$.

Um der zweiten Schwierigkeit zu begegnen, muss ein gewisser Verlust an Kraftlinien, die nicht in den Anker eintreten, (Streuungsverlust) geschätzt werden. Dringt von allen im Hufeisen erzeugten Kraftlinien nur der Bruchteil $\frac{1}{v}$ in den Anker, so müssen $v\,\mathfrak{S}$ Linien erzeugt werden.

Die Gesamtzahl der Ampère-Windungen für eine Zweipol-Maschine setzt sich nun aus 3 Teilen zusammen:

A W um $\mathfrak{S}$ Kraftlinien

durch den Anker zu treiben $= \mathfrak{S} \cdot \frac{L_a}{Q_a \mu_a} : 1{,}256;$

„ „ Luftraum „ „ $= \mathfrak{S} \cdot \frac{2 L_l}{Q_l} : 1{,}256;$

„ „ Magneten „ $= \nu \mathfrak{S} \cdot \frac{L_m}{Q_m \mu_m} : 1{,}256;$

$$\text{Gesamtzahl} = \mathfrak{S}\left(\frac{L_a}{Q_a \mu_a} + \frac{2 L_l}{Q_l} + \nu \frac{L_m}{Q_m \mu_m}\right) : 1{,}256.$$

Ausgeglühtes Schmiedeisen.			Graues Gusseisen.		
$\mathfrak{B}$ = Zahl der Kraftlinien durch 1 cm² Eisen	Durchlässigkeit	$\mathfrak{H}$ = Zahl der Kraftlinien durch 1 cm² Luft	$\mathfrak{B}$		$\mathfrak{H}$
5000	3000	1,66	4000	800	5
9000	2250	4	5000	500	10
10000	2000	5	6000	279	21,5
11000	1692	6,5	7000	133	42
12000	1412	8,5	8000	100	80
13000	1083	12	9000	71	127
14000	823	17	10000	53	188
15000	526	28,5	11000	37	292
16000	320	50			
17000	161	105			
18000	90	200			
19000	54	350			
20000	30	666			

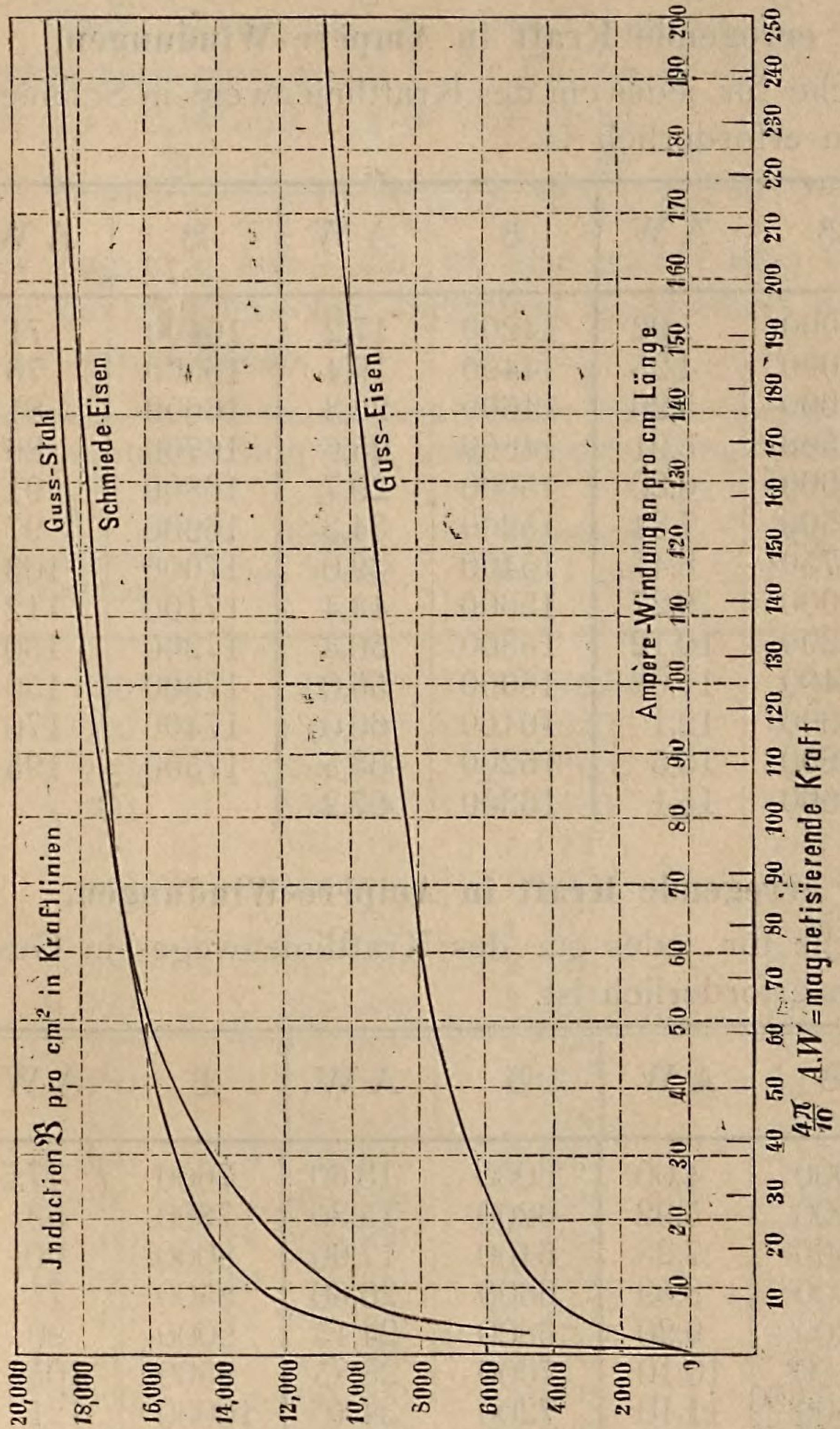

Induction 𝔅 pro cm² in Kraftlinien
Guss-Stahl
Schmiede-Eisen
Guss-Eisen
Ampère-Windungen pro cm Länge
$\frac{4\pi}{10}$ A.W = magnetisierende Kraft
20,000
18,000
16,000
14,000
12,000
10,000
8000
6000
4000
2000
0
10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170 180 190 200
10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170 180 190 200 210 220 230 240 250

Fig 160c.

Die folgenden Tabellen geben die (Fig. 160c)

erregende Kraft in Ampère-Windungen,

welche für jedes cm des Kraftlinienwegs in Schmiedeisen erforderlich ist.

𝔅	A W	𝔅	A W	𝔅	A W
5000	1,92	14200	17,2	16400	71
10000	4,25	14400	19,4	16500	76
11000	5,20	14600	22,3	16600	81
11500	5,91	14800	25,6	16700	86
12000	6,80	15000	29,7	16800	91
12500	7,84	15200	34,3	16900	97
12750	8.47	15400	39,0	17000	103
13000	9,27	15600	44,4	17100	112
13200	10,12	15800	50,3	17200	130
13400	11,08	16000	56,0	17300	150
13600	12,1	16100	60,0	17400	170
13800	13,5	16200	63,5	17500	195
14000	15,1	16300	67,2		

erregende Kraft in Ampère-Windungen,

welche für jedes cm des Kraftlinienweges in Gusseisen erforderlich ist.

𝔅	A W	𝔅	A W	𝔅	A W
3000	4,00	6000	13,60	7600	47,5
4000	5,92	6200	15,30	7800	53
4500	7,23	6400	17,60	8000	60
5000	8,59	6600	20,60	8500	75
5200	9,20	6800	24,15	9000	90
5400	10,10	7000	28,85	9500	105
5600	11,10	7200	34,40	10000	121
5800	12,10	7400	40.00		

Tragkraft der Elektromagnete.

Nach Maxwell ist die Tragkraft T eines Elektromagneten, wenn S die Fläche in cm^2 bedeutet, $\pi = 3{,}14$ und 1 g = 981 Dyn:

$$T = \frac{\mathfrak{B}^2 \cdot S}{8\,\pi} \text{ in Dyn; } T = \frac{\mathfrak{B}^2 \cdot S}{8\,\pi \cdot 981} \text{ in Gramm.}$$

Der Zug in g auf 1 cm^2 ist also gleich dem Quadrat der magnetischen Induktion $\mathfrak{B}$, dividiert durch $8\,\pi \cdot 981 = 24643$.

Magnetisierung und magnetische Tragkraft.

$\mathfrak{B}$ Einheitslinien auf 1 cm^2 Eisen	Dyn auf 1 cm^2	Gramm auf 1 cm^2	kg auf 1 cm^2
1 000	39 790	40,56	0,04056
2 000	159 200	162,3	0,1623
3 000	358 100	365,1	0,3651
4 000	636 600	648,9	0,6489
5 000	994 700	1 014	1,014
6 000	1 432 000	1 460	1,460
7 000	1 950 000	1 987	1,987
8 000	2 547 000	2 596	2,596
9 000	3 223 000	3 286	3,286
10 000	3 979 000	4 056	4,056
11 000	4 815 000	4 907	4,907
12 000	5 730 000	5 841	5,841
13 000	6 725 000	6 855	6,855
14 000	7 800 000	7 550	7,550
15 000	8 953 000	9 124	9,124
16 000	10 170 000	10 390	10,39
17 000	11 500 000	11 720	11,72
18 000	12 890 000	13 140	13,14
19 000	14 360 000	14 630	14,63
20 000	15 920 000	16 230	16,23

Beispiel. Der Schenkel eines Hufeisenmagnets habe 3 cm² Querschnitt und die Induktion $\mathfrak{B}$ betrage 20000 CGS-Einheiten; mit welcher Kraft wird der aufgeschliffene Anker von jedem Schenkel angezogen?

Antwort: $T = \frac{20000^2 \cdot 3}{8 \cdot 3{,}14 \cdot 981000}$ kg; $= 3 \cdot 16{,}23 = 48{,}69$ kg. Umgekehrt kann man aus der Tragkraft T die Zahl $\mathfrak{B}$ der Kraftlinien auf 1 cm² berechnen und daraus nach Fig. 160c und nach umstehender Tabelle die Anzahl der Ampère-Windungen bestimmen.

$$\mathfrak{B} = \sqrt{\frac{T \cdot 8\pi}{S}}, \text{ wenn T in Dynen für die Fläche S;}$$

$$\mathfrak{B} = \sqrt{\frac{T \cdot 8\pi \cdot 981}{S}}, \text{ wenn T in Gramm;}$$

$$\mathfrak{B} = \sqrt{\frac{T \cdot 8\pi \cdot 981000}{S}}, \text{ wenn T in kg gegeben ist;}$$

$$\mathfrak{B} = 4967 \sqrt{\frac{T}{S}} = 1{,}256 \frac{\mu \cdot JN}{L}; \text{ woraus}$$

$$JN = \text{Ampère-Windungen} = 3951 \frac{L}{\mu} \sqrt{\frac{T}{S}}.$$

Beispiel. Ein ausgeglühtes Rundeisen von 1,27 cm Durchmesser und 20 cm Länge ist zum Hufeisen gebogen, der Anker ist 10 cm lang und so gebogen, dass er gut anliegt. Der Anker soll mit 8 kg festhalten.

Aus der Tabelle folgt $\mathfrak{B} = 14000$ (annähernd) und $= 823$.

$$AW = 3951 \cdot \frac{20 + 10}{823} \sqrt{8} = 407{,}4.$$

$$T_1 \text{ an einem Pol} = \frac{1,27 \cdot 1,27 \cdot 3,14 \cdot 8}{4} = 10,128 \text{ kg.}$$

T_2 an beiden Polen = 20,256 kg.

Man bestimmt mit der Tangentenbussole die Stärke des erregenden Stromes und berechnet dann die Zahl der Windungen mit Berücksichtigung der Drahtdicke; 2 bis 4 Amp. auf 1 mm² Querschnitt.

Stromrichtung und Polarität des stromumflossenen Eisens.

(Fig. 161.) Das Ende des Eisens, welches dem Beobachter am nächsten ist, ist ein Nordpol, wenn der Strom (positive) in der umgekehrten Richtung des Uhrzeigers, und ein Südpol, wenn der Strom in der Uhrzeigerrichtung fliesst.

Andere Gedächtnisregel: Die Richtung des umlaufenden positiven Stromes steht zur positiven Richtung (vom N- zum S-Pol) der erzeugten magnetischen Kraft in demselben Verhältnis, wie der Umlauf zur Bewegung einer rechtsgängigen Schraube. Rechtsgängiger Umlauf ist mit Vorwärtsbewegung verbunden. Rechtsgängiger Stromlauf erzeugt eine magnetische Kraft, die am andern Ende des Kernes einen Nordpol hervorbringt.

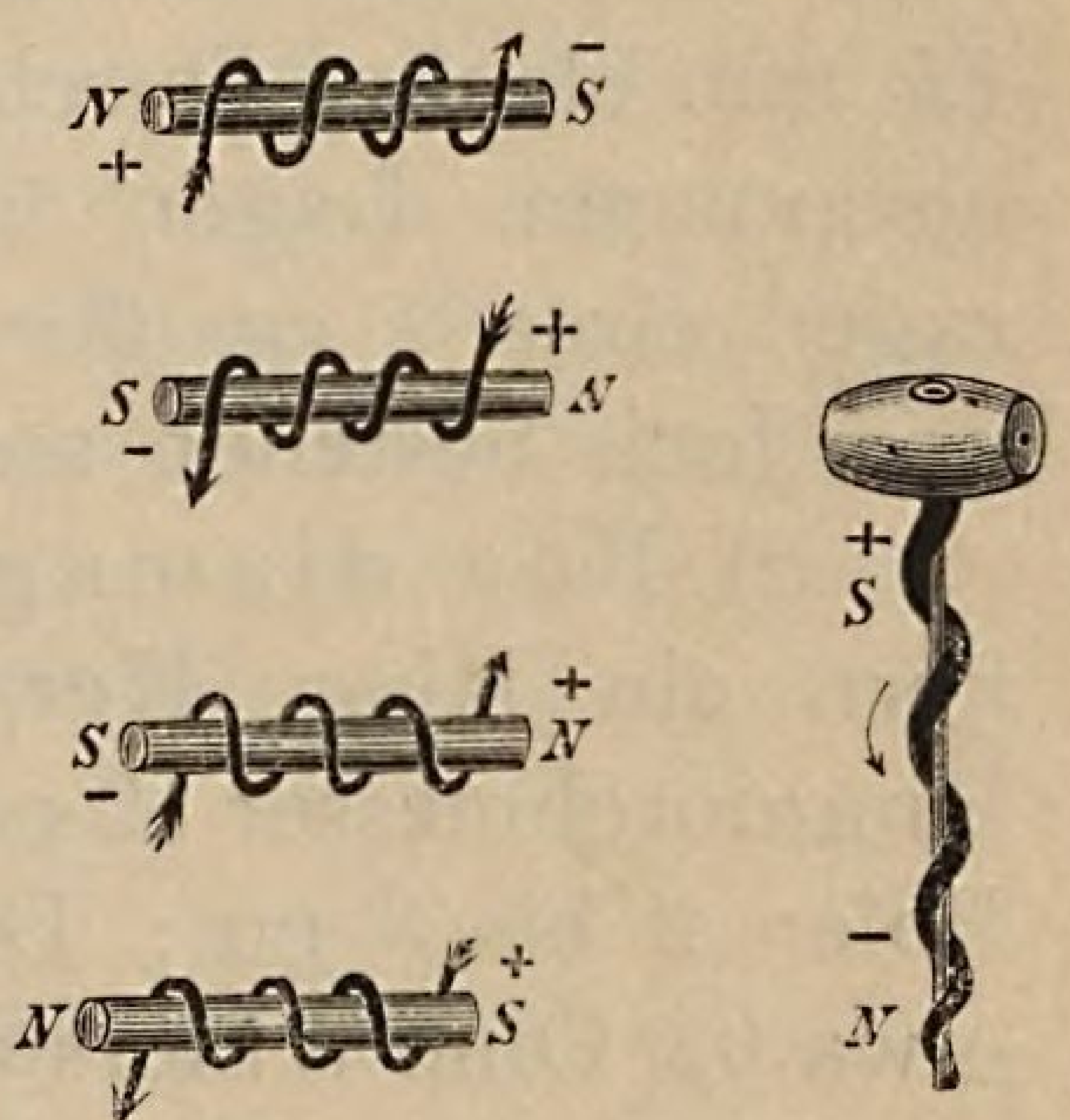


Fig. 161.

Ein vom Strom umflossener, geschlossener Eisenring ist pollos.

Dimensionen dreier Elektromagnete.

a) Für ein Läutwerk mit einer Glocke von 80 mm Durchmesser giebt man einem einfach gebogenen Rundstab etwa 8 mm Dicke, den geraden Schenkeln 55 mm Länge und lässt diese 35 mm von einander abstehen; dieselben Zahlen gelten auch für die zusammengesetzte Form. Wird die Glocke um 12 mm im Durchmesser grösser, so wählt man den Rundstab um 1,5 mm dicker und macht die Schenkel um 6,5 mm länger.

b) Zum Magnetisieren von Stahlstäben und Hervorbringen der gewöhnlichen elektromagnetischen Wirkungen reichen folgende Abmessungen aus: Durchmesser der Kerne 2,5 cm; Länge der Kerne = 12 cm; Entfernung der Mitten der Kerne = 8 cm; Joch = $14 \cdot 2{,}5 \cdot 2{,}5$ cm^3; Kupferdraht 1,7 mm blanken Durchmesser, doppelt mit Baumwolle umsponnen, Lagen übereinander = 4; die Kerne ragen circa 1 cm über die Rollen hervor. Schenkel und Joch bestehen aus ausgeglühtem Schmiedeeisen.

c) Für diamagnetische Zwecke. Eisenkern ein Ring, Kerndurchmesser 2,5 cm; äusserer Ringdurchmesser 19 cm; Zwischenraum zwischen den Polen 2 bis 3 cm; Draht blank, 1,2 mm dick und etwa 0,9 Ohm Widerstand; Bewickelung hauptsächlich an den Enden. Ein Wismutstäbchen an untordiertem Seidenfaden zwischen die Pole achsial gehängt, stellt sich mit 6 Bunsen-Elementen äquatoreal, d. h. parallel mit den Polflächen.

Kapitel IX.

Haustelegraphie: Läutwerke, Klappen, Anlagen.

Bestandteile eines Läutwerks.

Ein elektrisches Läutwerk oder eine elektrische Klingel besteht aus einem ein- oder zweischenkeligen Elektromagneten, der während des Durchgangs eines galvanischen Stromes durch seine Spirale seinen Anker anzieht, einer Selbstunterbrechung des Stromes und einer Glocke, die durch den an dem Anker befestigten Hammer ins Tönen versetzt wird.

Die Selbstunterbrechung ändert sich, je nachdem sie zu einem Rasselwerk oder zu einer Einschlagglocke oder zu einer Fortschellklingel dienen soll. 1850 John Mirand.

Anfertigung eines Rasselwerks.

a. Der Elektromagnet. (Fig. 162.) Durch messer der Kerne = 1 cm; Länge der Kerne = 4,5 cm; Abstand zwischen den Mitten der Kerne 2,6 cm; Länge innerhalb der Flanschen der hölzernen Spulen (Wickelungsraum) = 4 cm; innerer Durchmesser der Windungen = 1,3 cm; äusserer Durchmesser der Windungen = 2,42 cm; Durchmesser

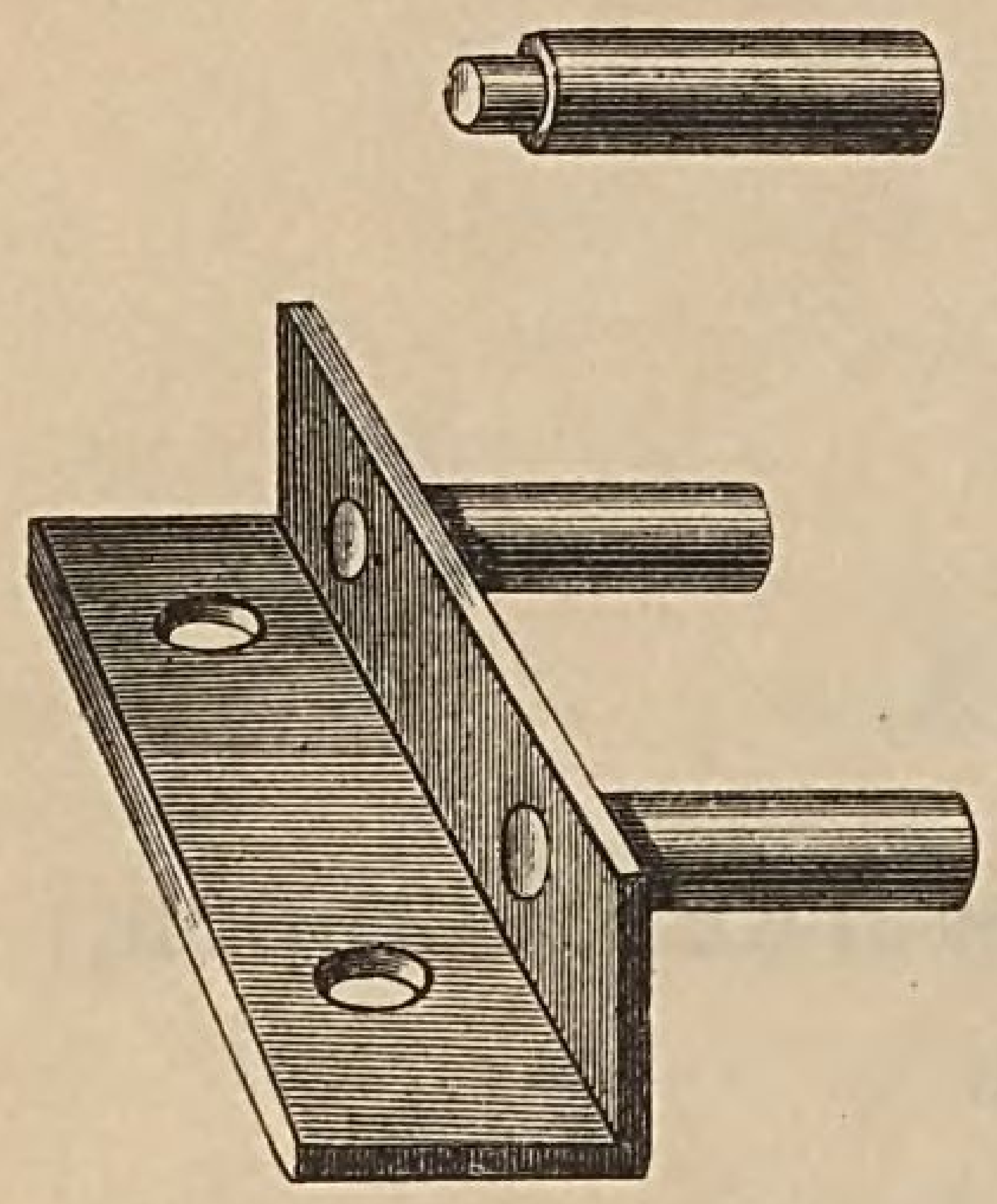


Fig. 162.

des blanken Drahtes = 0,4 mm, mit Seide umsponnen 0,6 mm; Zahl der Windungslagen = 7; Gesamtzahl der Windungen = 350; Länge des Drahtes auf einer Spule = 20,45 m; Widerstand beider Spulen = 5,68 Ohm. Zum Betriebe genügen 2 Braunstein-Elemente, welche, hinter einander geschaltet, bei einer Stromstärke von $\frac{1}{4}$ Ampère etwa 1,4 Volt an den Klemmen geben.

b. Der Anker (Fig. 163.) besteht für diese Zwecke aus einem weichen prismatischen Stück Eisen von 3 bis 4 mm Dicke, 12 mm Breite und 45 mm Länge (gleich der äussersten Entfernung der Pole). An sein eines Ende ist eine Uhrfeder von 10 mm Breite aufgeschraubt, die einerseits an einen Träger oder

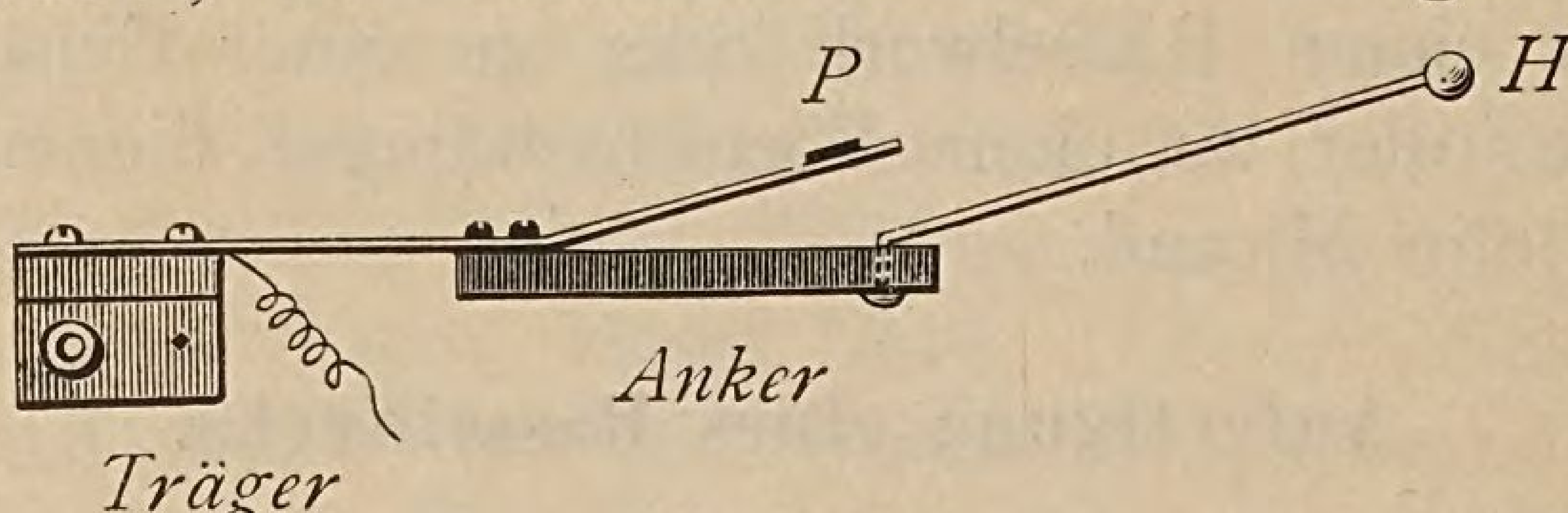


Fig. 163.

Ständer angeschraubt oder angenietet und zwischen Träger und Anker 8 bis 10 mm lang ist und die anderseits nach aussen abgebogen und mit einem aufgelöteten Platinplättchen P versehen ist. — An das andere Ende des Ankers ist ein harter Messingdraht von 2 mm Dicke eingeschraubt oder einge-

lötet, der den Hammer, eine kleine Messingkugel oder ein Stück Rundeisen trägt.

c. Die Selbstunterbrechung. Das Platinplättchen P der Ankerfeder lehnt sich im Ruhezustande an einen kurzen Platinstift (0,3 bis 0,5 mm dick), der in eine Schraube S (mit Gegenmutter s)

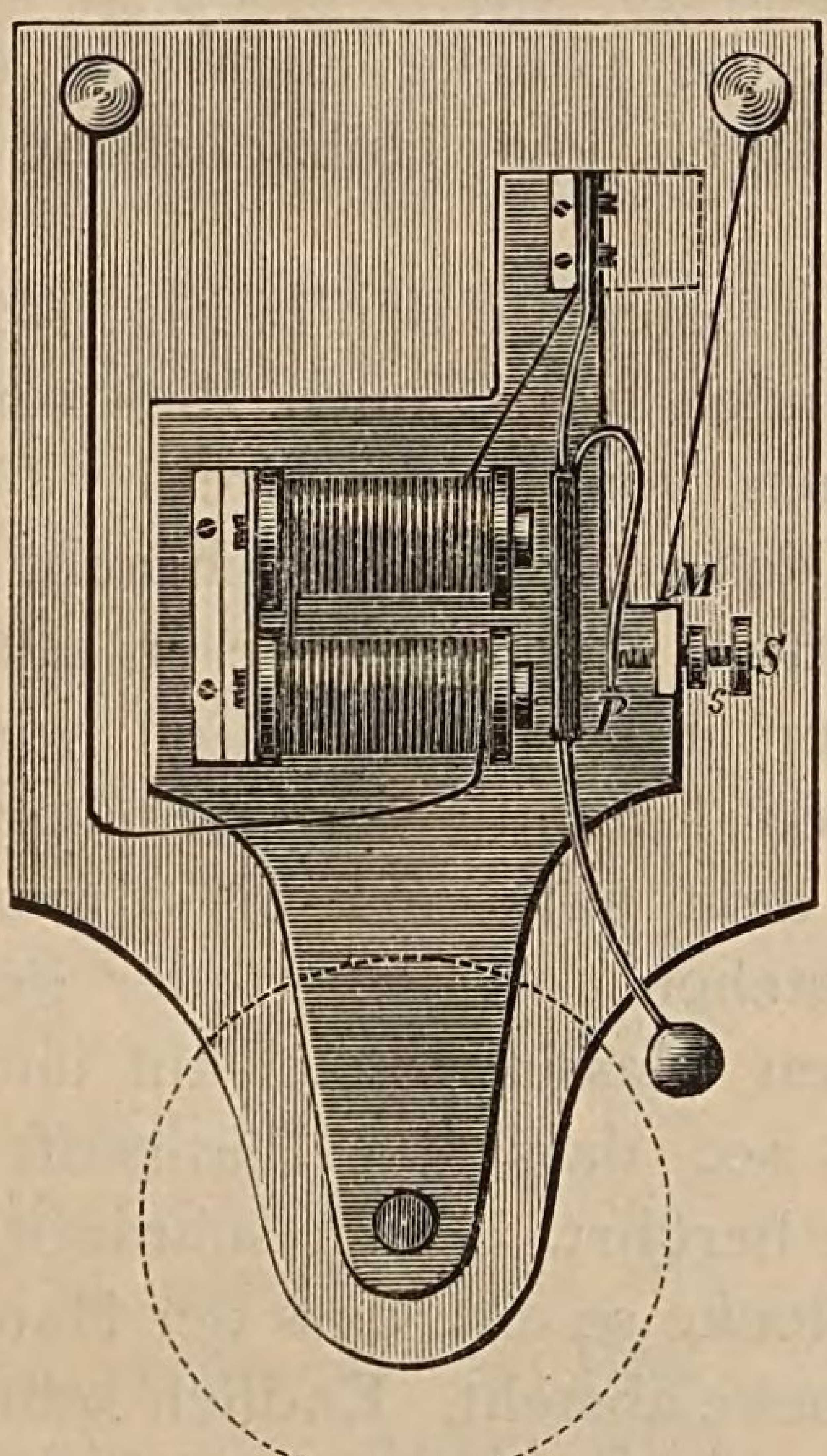


Fig. 165.

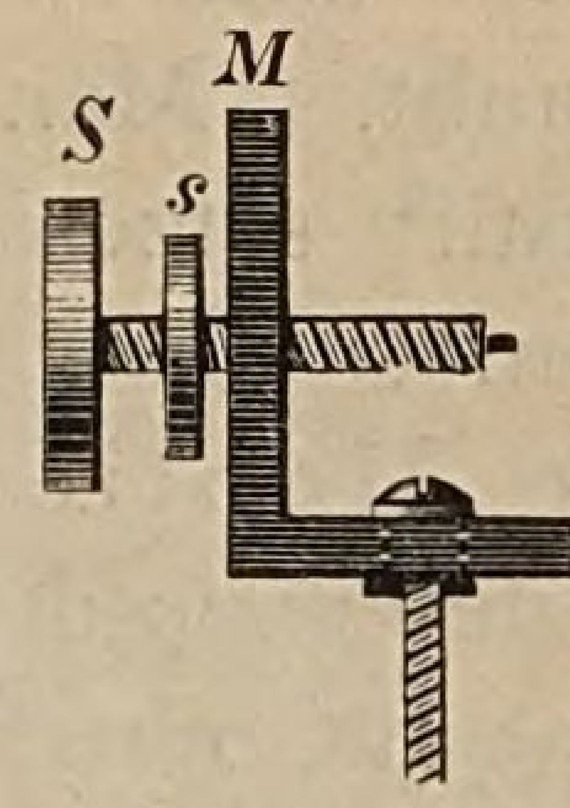


Fig. 164.

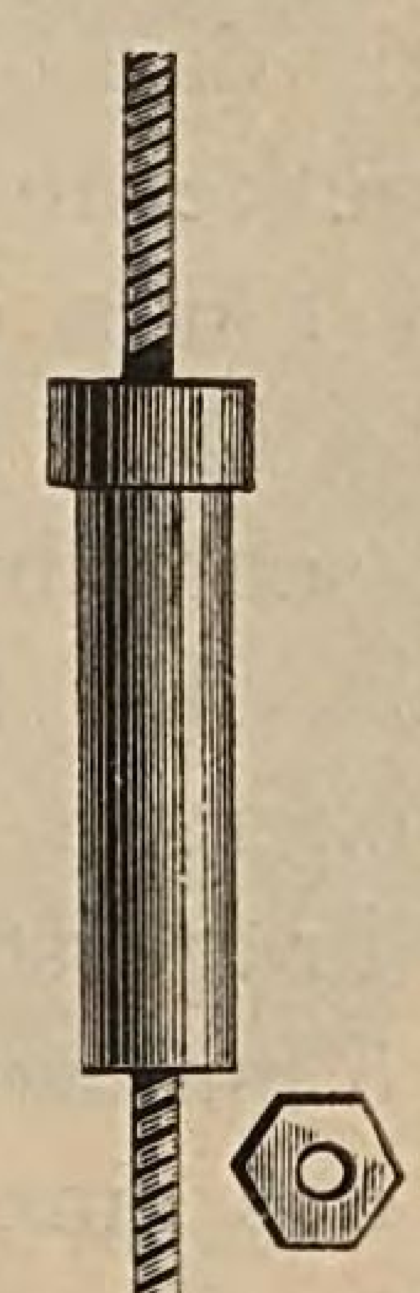


Fig. 166.

gelötet ist. Diese Regulierschraube (Fig. 164) dreht sich in einer rechtwinklig gebogenen, 2 bis 3 mm dicken Messingplatte M, die mit einer Holzschraube auf das Grundbrett befestigt wird. Ist die Klingel auf eine Metallplatte montiert (Fig. 165), so werden

Ankerträger und Regulierungsträger M, wie die Figur gestrichelt angiebt, von dieser Platte aufgebogen. Beide Träger müssen gleich hoch sein.

d. Die Glocke von 60 bis 70 mm Durchmesser wird auf einen Stift (Fig. 166) gesetzt und durch eine Schraubenmutter festgehalten; der Stift wird mit der unteren Schraube in das Grundbrett eingeschraubt. Man kann die Glocke auch auf einen Holzstift setzen und durch eine Holzschraube festhalten.

e. Montierung. Befestige den in Fig. 162 abgebildeten und mit Spulen versehenen Elektromagneten auf ein Brettchen von 10 cm Breite, 15 cm Länge und 1,5 cm Dicke. Hierauf schraubt man den Anker-Träger mittels Holzschraube so auf das Brett, dass der Anker mit seinem Eisen vor die Magnetkerne zu stehen kommt, von dem oberen Kern 1 mm und von dem unteren 2 bis 3 mm absteht. Dem Platinplättchen der Ankerfeder gegenüber schraubt man den Messingwinkel auf und reguliert die Schraube so, dass ihr Platinstift das Plättchen in der Mitte berührt. Dann schraubt man den Trägerstift der Glocke so ein, dass der Hammer 4 bis 5 mm von der Glocke absteht. Endlich schraubt man das eine Ende des Spulendrahts an den Ankerträger, das andere an die links oben stehende Polklemme und verbindet schliesslich die rechts oben stehende Polklemme mit dem Träger der Regulierungsschraube durch einen blanken Kupferdraht. Der Montierung sollte der Entwurf einer genauen Zeichnung vorausgehen!

f. Elemente, Stromlauf. Das für Läut-

werke gebräuchlichste Element ist das Braunstein-Element in seinen verschiedenen Formen, denn es hat eine Spannung von 1,46 Volt, mit grossen Platten einen inneren Widerstand von 1,5 Ohm, erholt sich rasch wieder, ist wohlfeil und hält jahrelang an. — Verbinde nun die beiden Polklemmen der Klingel mit den beiden Leitungsdrähten des Elements; ist alles richtig getroffen, so schlägt der Hammer rasch und kräftig an die Glocke. Der rechts eintretende (positive) Strom geht von der Platinspitze zum Platinplättchen durch den Anker, das Drahtgewinde, zur linken Polklemme und zurück zum Zink des Elements; der Stromkreis ist also geschlossen, die Eisenkerne werden magnetisch, ziehen den Anker herbei, die Platine trennen sich, der Stromlauf ist unterbrochen, die Kerne verlieren ihren Magnetismus, der Anker wird durch seine Stahlfeder zurückgeschnellt u. s. w. (Fig. 166 a.)

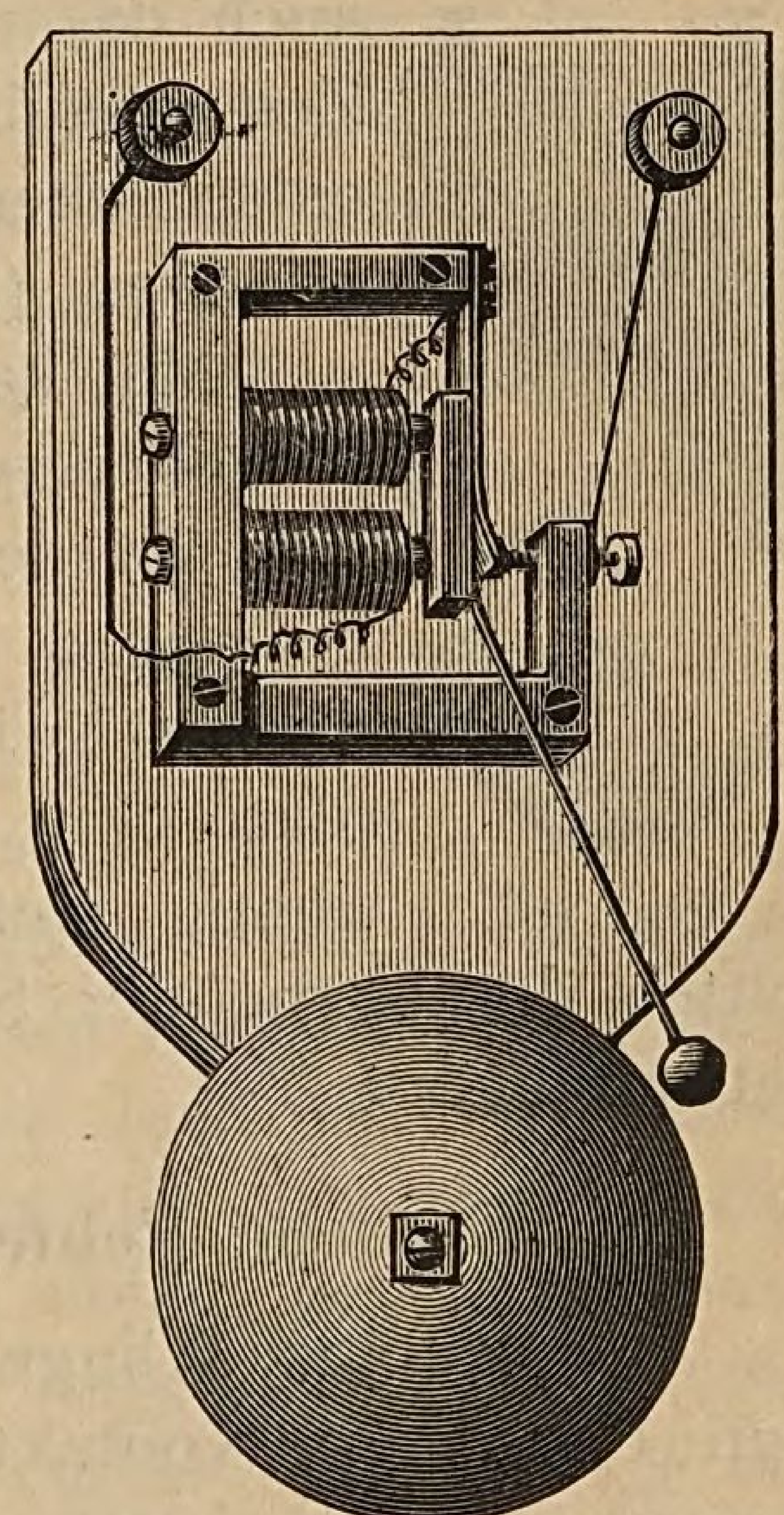


Fig. 166 a.

g. Regulierung. Sollte die Stromunterbrechung nicht erfolgen, so schraube man die Platinspitze zurück; trifft der Hammer die Glocke nicht, so schiebe man den Elektromagneten zurück oder biege seinen Messingstift. — Würde man das Platinplättchen un-

mittelbar auf den Anker löten (was häufig mit zu viel Lot geschieht), so würde beim Abziehen des Ankers der Strom nur kurze Zeit kreisen, die Eisenkerne nur geringen Magnetismus entwickeln und der Hammer nur schwach anschlagen; durch die längere Berührung der Platine erhält der Elektromagnet Zeit, seinen Magnetismus stärker zu entwickeln, denn auch das weichste Eisen braucht einige Zeit, um seine volle, dem jeweiligen Strom entsprechende magnetische Kraft zu erlangen (S. 297).

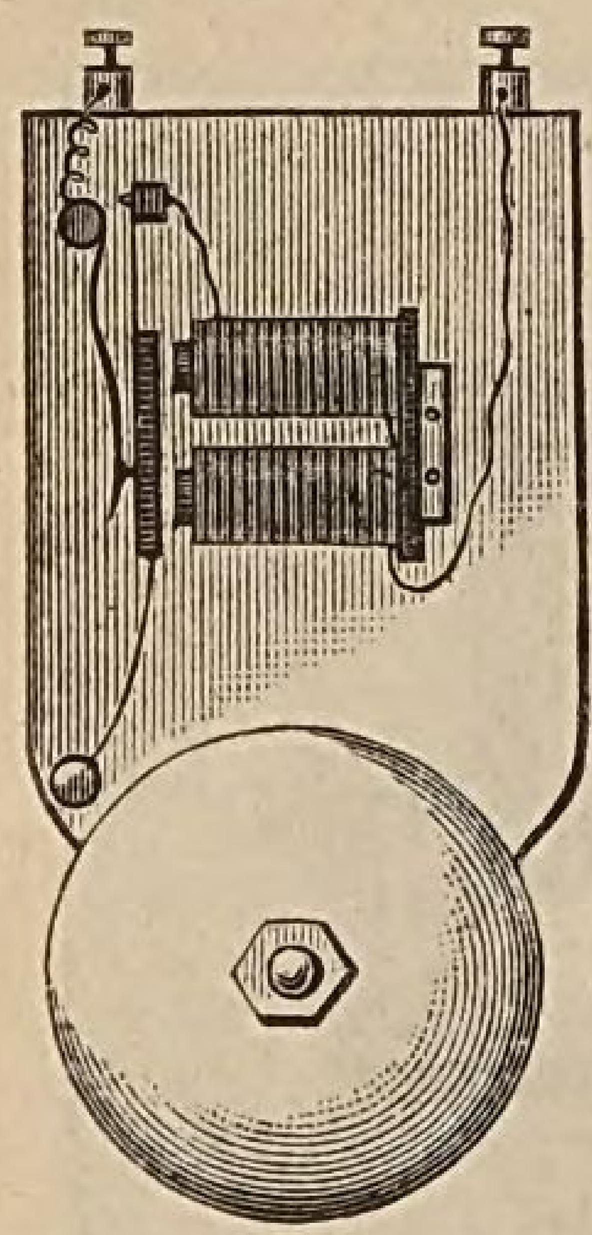


Fig. 167.

Man kann die Regulierungsschraube umgehen, wenn man die Kontaktfeder statt an den Anker an eine Polklemme befestigt, aber die Regulierung wird dann schwieriger. (Läutwerk auf Holzplatte Fig. 167.) Der Anker ist leicht richtig einzustellen, wenn sein Träger mittels durchgehender Schraube auf die Grundplatte befestigt wird.

Mögliche Fehler eines Läutwerks.

Die bei einer Klingel auftretenden Fehler können sein: 1) schlechte Kontakte (Berührungen); 2) schlechte Anordnung der einzelnen Teile; 3) mangelhafte Isolierung; 4) Schwinden des Holzes.

Bemerkungen zu No. 1. Werden die Drahtenden unter die Basis der Träger (z. B. unter die Polklemmen) um das Schraubengewinde gelegt, so wird nicht selten die Schraube nicht tief genug in das Holz eingetrieben und der Draht legt sich nur schlecht an die Polklemme. Auch andere Schrauben sind

nicht immer fest angezogen. Ein andermal ist mit Lötwasser (Chlorzink) gelötet und das Lot nicht sorgfältig abgewaschen und abgetrocknet worden, die Lötstelle wird allmählich abgefressen; man löte darum mit Harz. Selbst Verwechslungen zwischen Platin und Silber kommen vor. Platin wird von Salpetersäure nicht angegriffen; Silber, mit Salpetersäure betupft, giebt eine grünliche Lösung, die, auf Papier gebracht, dasselbe violett färbt.

Ferner kann die Regulierungsschraube locker sitzen; man ziehe die Gegenmutter an, oder falls keine vorhanden ist, säge man die Platte von oben bis zum Schraubengewinde mit der Laubsäge ein und presse zusammen.

Bemerkungen zu No. 2. Haftet oder klebt der Anker an den Magnetkernen, so ist der Hammer zu weit von der Glocke entfernt und die Magnetkerne sind nicht gut ausgeglüht. Nicht selten berührt die Platinspitze das Platinplättchen nicht in der Mitte, sondern trifft auf Lot. Ist die den Anker tragende Feder zu stark, so erfordert dies eine vermehrte Anzahl von Elementen; man schleife sie also dünner. Bei einer zu schwachen Feder folgen sich die Schläge zu langsam, man mache sie kürzer oder ersetze sie durch eine andere.

Bemerkungen zu No. 3. Bei einem schlecht bedeckten Leitungsdraht treten Kurzschlüsse auf, der Magnet wirkt schwach. Der Magnet einer Glocke von 65 mm Durchmesser sollte, mit einem einzigen Braunstein-Element erregt, einen beide Kerne berührenden Anker von 450 g tragen können; thut er dies nicht, so hat der Draht Isolationsfehler. Dies

lässt sich bei einem direkt auf das Eisen gewundenen Draht mit einem stark erregten Flaschen-Element nachweisen: verbinde den einen Pol des Elements mit einem Spulenende und fahre mit dem andern Poldraht über die Eisenkerne; erhält man Funken, so ist schlechte Islation sicher vorhanden. Nur frisches Aufwinden gut bedeckten Drahtes kann diesem Fehler abhelfen.

Bemerkungen zu No. 4. Nur selten noch findet man die einzelnen Teile einer elektrischen Klingel auf Holz montiert. Infolge der Änderungen des Holzes mit der Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit ändern sich die Entfernungen des Ankers von den Magnetschenkeln, sowie der Ankerfeder von der Platinspitze und es treten damit stetige Störungen im Betriebe ein.

In Fig. 165 sind sämtliche Teile auf eine Eisen- oder Messingplatte geschraubt. In diesem Falle muss die Feder oder die Zuleitungsschraube isoliert werden.

Bevor wir die Aufzählung der in Läutwerken möglichen Fehler verlassen, möchten wir noch bemerken, dass jede Klingel, die dauernd funktionieren soll, einen Deckel haben muss. Staub, Rauch, Dunst, die sich sicher einstellen, verhindern gute Berührungen. Der Deckel wird aus dünnem Holz so hergestellt, dass nur Glocke und Hammer nicht bedeckt sind. Natürlich muss der Hammerstiel in einem Schlitze des Deckels frei schwingen können.

Die nachstehende Tabelle giebt in mm die Verhältnisse, die bei den einzelnen Teilen elektrischer Läutwerke von verschiedener Grösse zu beachten sind. Dazu ist zu bemerken, dass Klingeln, die in

lange Leitungen eingeschaltet sind, viel feineren Draht erhalten sollten, als solche, deren Elektricitätsquelle in der Nähe steht, wofern nicht Relais in Anwendungen kommen. Ein Drahtdurchmesser von 1,5 mm reicht selbst für grosse Glocken aus.

Tabelle über die Verhältnisse elektrischer Klingeln.

Durchmesser der Glocke in mm	Länge der Magnetkerne in mm	Durchmesser der Magnetkerne in mm	Länge der Rolle in mm	Durchmesser der Rolle in mm	Durchmesser des Drahtes in mm
60—65	50	8	45	19	0,3—0,4
75	58	10	50	22	0,4—0,5
90	64	11	58	25	0,5—0,6
100	70	12	64	28	0,5—0,6
115	76	14	70	34	0,6—0,7
130	82	16	76	35	0,6—0,7
140	85	18	82	38	0,7—0,8
150	86	20	90	40	0,7—0,9
165	100	23	100	45	0,7—0,9
175	106	24	106	48	0,8—1,0
190	112	24	106	50	0,8—1,2
200	115	25	112	52	0,9—1,4
212	120	25	115	53	1,0—1,5

Ein Läutwerk für starken Schlag.

Fig. 168. Dieses Läutwerk dient hauptsächlich für solche Zwecke, bei welchen es sich darum handelt, kräftige Signale zu geben, wie z. B. als Alarmsignale oder auch für Strassenbahnen etc. Wie aus der Figur hervorgeht, sind die einzelnen Teile auf einem eisernen Rahmen montiert, und es dürften zunächst die verhältnismässig langen Magnetspulen resp. deren Kerne auffallen. Die letzteren besitzen im Innern

der Spule einen grösseren Querschnitt als an den vorspringenden Polstücken. Die darüber liegende drehbar angeordnete Armatur, welche an dem einen Ende den Anschlagshammer trägt, hat entsprechende Höhlungen, in welche diese Polstücke etwas hineinragen, so dass eine sehr kräftige Anziehung statt-

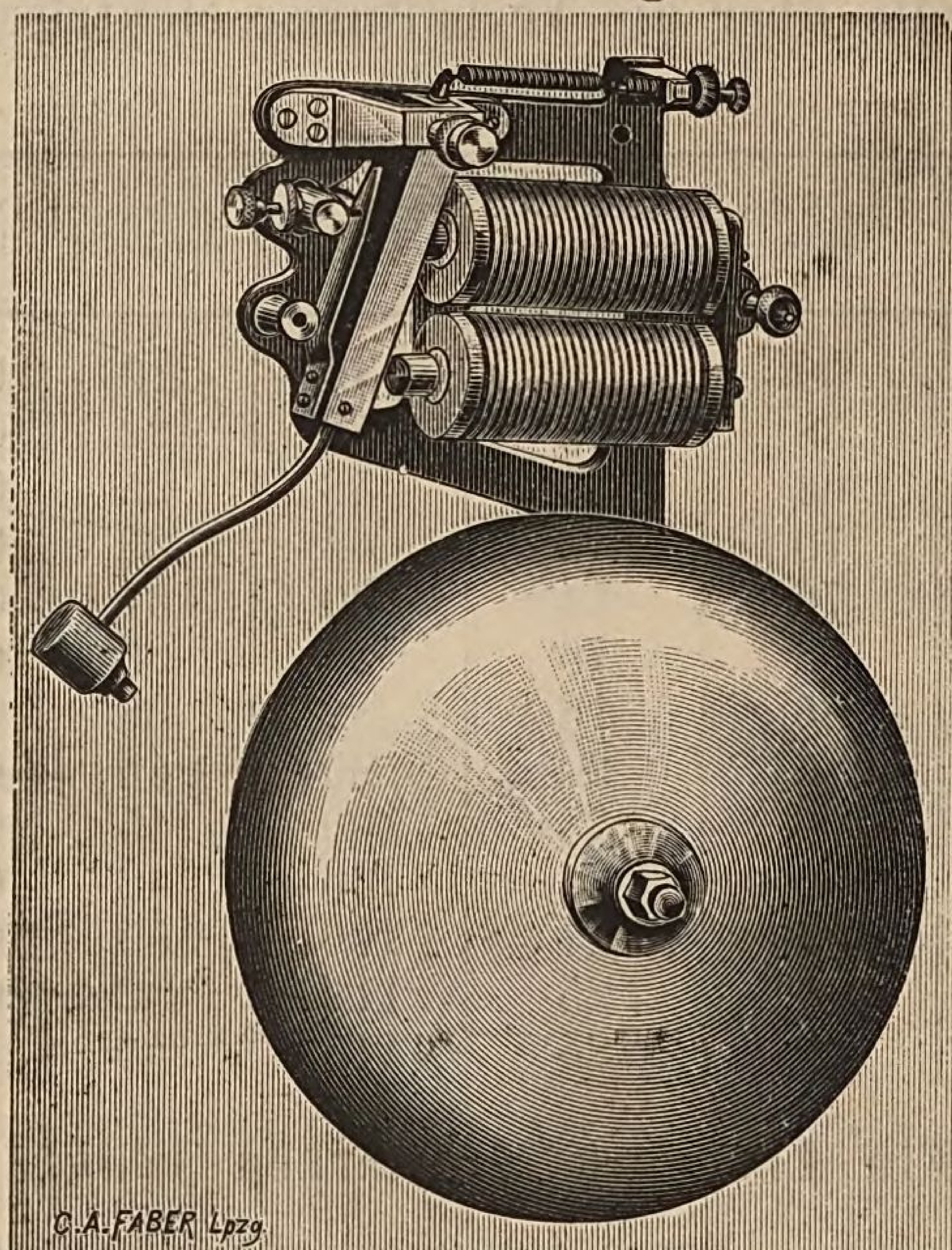


Fig. 168.

findet, selbst wenn die Armatur sich in ihrer entfernt liegenden Stellung befindet, wodurch der Ton sehr an Kraft gewinnt. Es ist durch diese Anordnung möglich, die Bewegung der Armatur auf einen Winkel von 45^0 auszudehnen, da auch in dieser äussersten Lage der magnetische Stromkreis keinen grossen

Widerstand wie bei anderen Konstruktionen bietet, sodass sich die Wirkung auf die Armatur entsprechend kräftig äussert.

Auf der Armatur ist wie bei vielen Selbstunterbrechern ein federndes Kontaktblech aufgeschraubt, welches in gewissen Lagen gegen die den Strom zuführende Stellschraube stösst. Eine weitere Regulierung wird durch Veränderung der Federspannung am oberen Teile der Armatur (Anker) bewirkt.

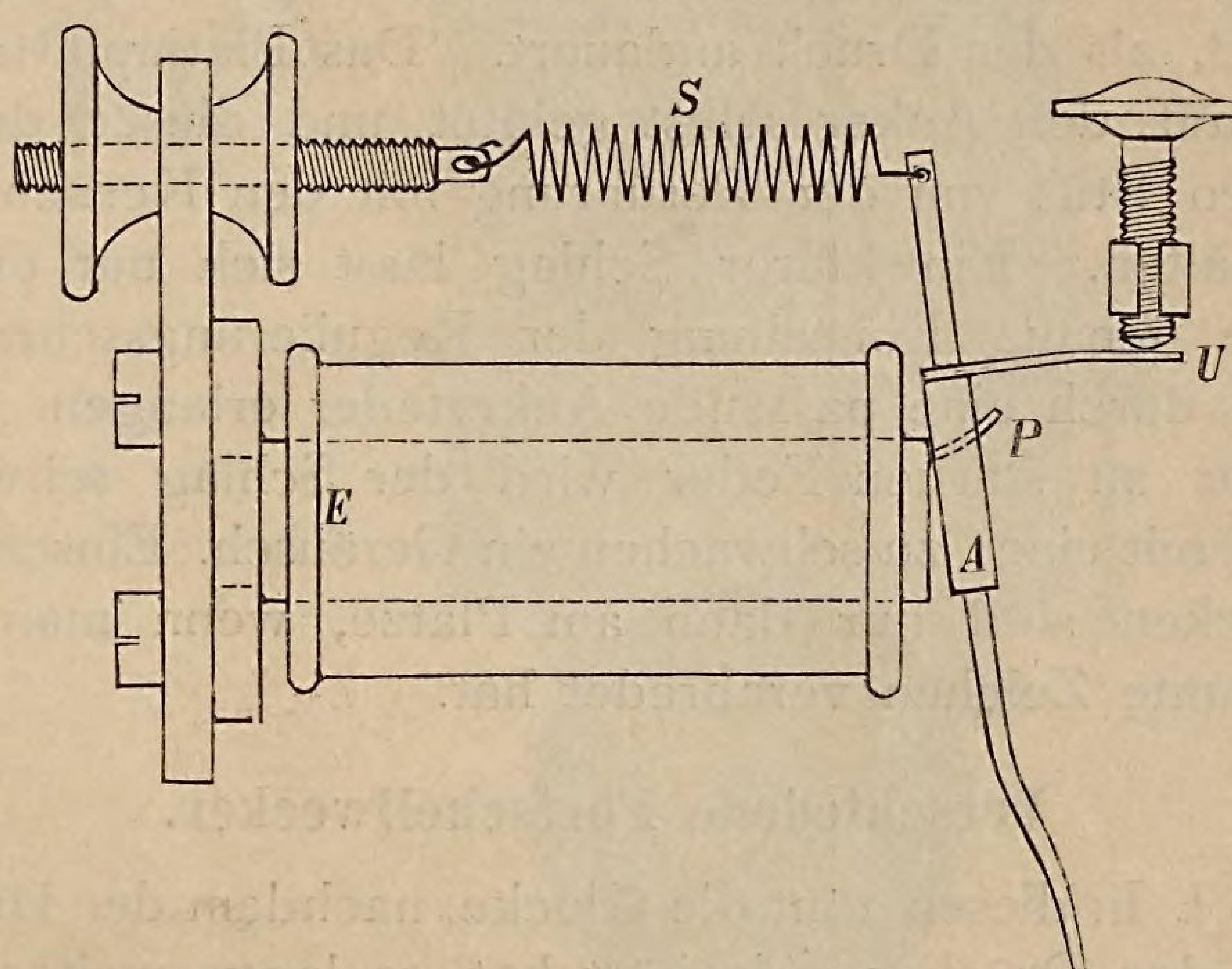


Fig. 168a. $^1/_1$ nat. Gr.

Fig. 168a. W a g e n e r in Wiesbaden hängt den Anker A an Stiften auf, die in die Pole P geschraubt und aufwärts gekrümmt sind. Der Anker vervollständigt so den magnetischen Stromkreis, wird aber durch eine Spiralfeder S zurückgehalten, so dass zwischen ihm und den Polflächen ein enger Winkelraum bleibt. Wenn er den Raum schliesst, verbessert

er den magnetischen Stromkreis und wird in Schwingungen versetzt, da der elektrische Strom in U unterbrochen wird.

Einschlagglocke.

In der Einschlagglocke sind die Drahtenden der Elektromagnetrollen direkt mit den Polklemmen verbunden, so dass, wenn mittels des Drückers der Stromkreis der Batterie geschlossen wird, der Anker gegen die Kerne gezogen und so lange festgehalten wird, als der Druck andauert. Das Platinplättchen ist auf den Anker selbst gelötet und dieser durch einen Stift von der Berührung mit den Kernen abgehalten. Ein klarer Schlag lässt sich nur durch eine genaue Einstellung der Regulierungsschraube und durch eine passende Ankerfeder erlangen. Mit einer zu starken Feder wird der Schlag schwach und mit einer zu schwachen ein Geräusch. Einschlagglocken sind nur dann am Platze, wenn man bestimmte Zeichen verabredet hat.

Verschiedene Fortschellwecker.

I. In diesen tönt die Glocke, nachdem der Druck auf den Drücker aufgehört hat, so lange weiter, als die Batterie Strom liefert oder bis von Hand abgestellt wird (Fig. 169).

Das Joch i hat einen Winkel i′ und an dessen Ende T ist die Ankerfeder geschraubt. Die Polklemme Pc ist mit dem einen Drahtende des Elektromagneten, Pl mit der Selbstunterbrechung R und mit der Achse des Hebels H und endlich Pz mit der zweiten Regulierungsschraube R′ verbunden. An

Pc ist die Kohle (Kupfer) des Elements gelegt; vom Zinkpol leiten zwei Drähte den Strom, der eine über den Drücker D nach Pl, der andere direkt nach Pz.

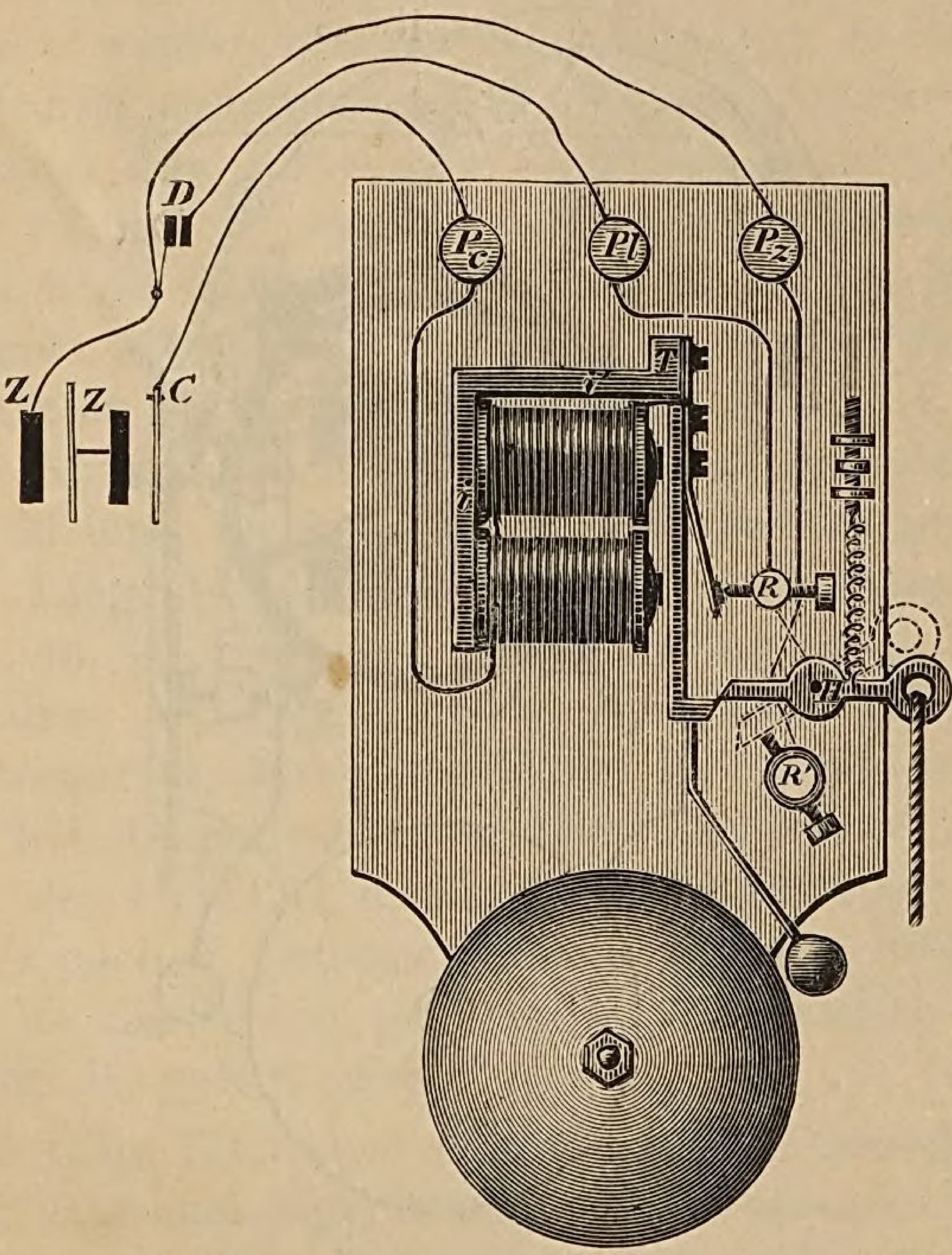


Fig. 169.

Wird der Strom bei D geschlossen, so kreist er über Pc durch die Spulenwindungen zur Ankerfeder nach R und über Pl nach dem Zink, wie bei einer gewöhnlichen Klingel. Sobald aber der Anker angezogen ist, fällt der Hebel H, legt sich an R' und nun ist der Stromlauf: C — Pc — Spulenwindungen —

Ankerfeder — R — H — R′ — Pz — Z. Durch das Herabziehen des Hebels H wird der Stromlauf wieder unterbrochen.

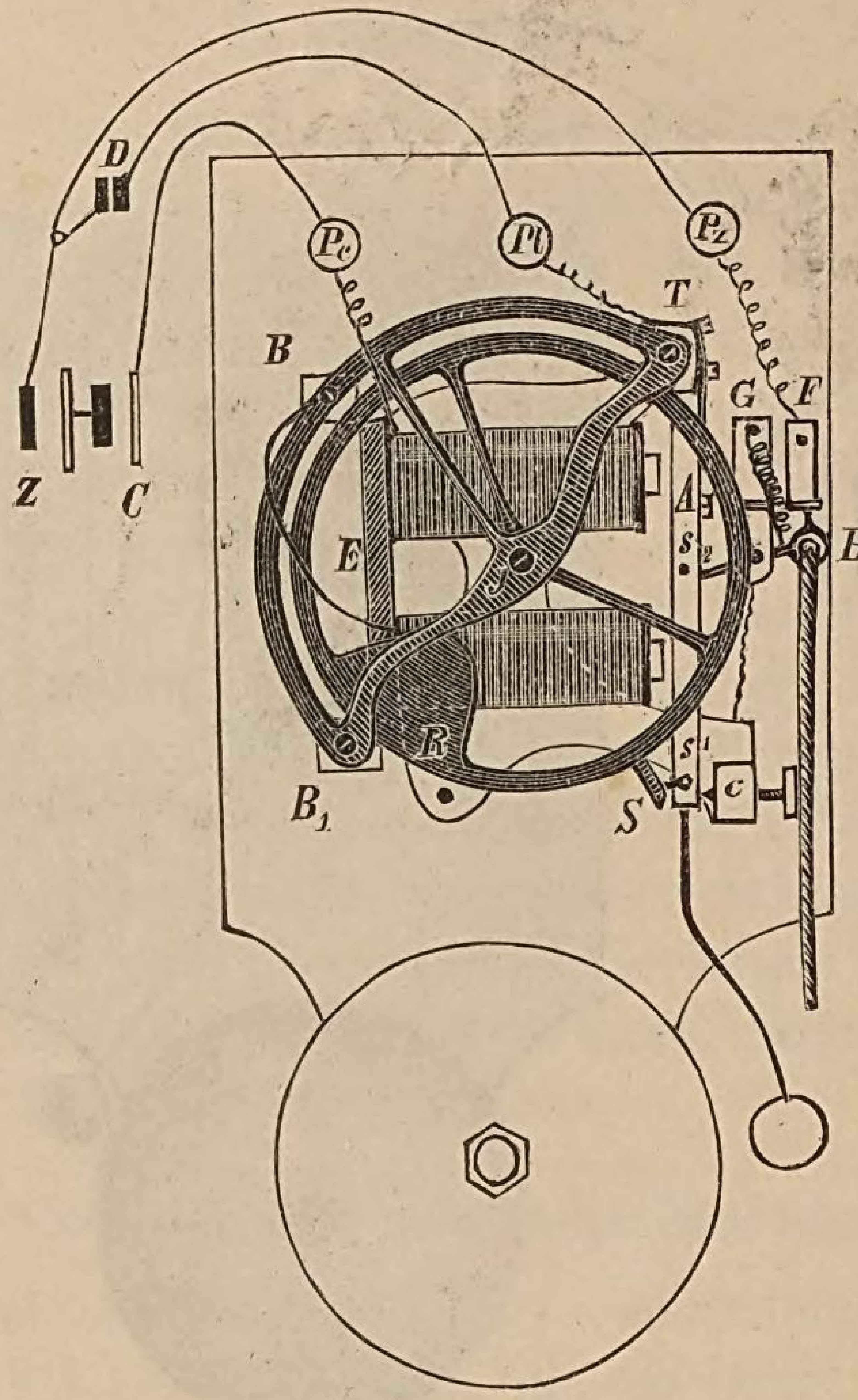


Fig. 170.

II. An den Elektromagneten E, dessen Grundplatte im Umriss angedeutet ist, sind die Messingträger B u. B_1 und auf die Grundplatte selbst die Messingträger T u. C geschraubt. Der Halbring, der auf die Träger B, B_1 u. T isoliert geschraubt ist, dient zur Führung für die Achse des Messingrades R, dessen einer Strahl bei R schwerer ist und darum

den Stift S beständig gegen den Stift S_1, der auf den Anker A geschraubt ist, zu drücken strebt. So oft also der Anker angezogen wird, erteilt er dem Rade einen Stoss nach links und der Stromschluss tritt erst wieder bei der Rückkehr von S nach S_1 ein. Durch Veränderung der Stellung der Schraube in C kann die Zeit der Schläge verlängert oder verkürzt werden. Der Strom fliesst von Pc durch die Magnetspulen nach B, in das Rad R und kehrt über S und S_1 durch den Anker über Pl und D zum Zinkpol zurück. Der Anker A trägt in der Mitte noch den Stift S_2, auf den sich der Hebel H legt, wenn er mittels der Schnur gezogen wird. Liegt H an dem Winkel F, so fliesst der Strom von B durch die Radachse zur Grundplatte nach dem Messingträger C, von hier nach dem Hebelträger G, durch den Hebel H, nach F und Pz. Wird bei D gedrückt, so wird der Anker angezogen, der Hebel H durch die in G befestigte Spiralfeder nach F gezogen und die Glocke ertönt so lange, bis die Schnur gezogen und der Hebel H auf den Stift S_2 gelegt wird.

III. (Fig. 171.) Auf einer metallenen Grundplatte ist der einschenkelige kräftige Elektromagnet E mit seitwärts gestellten Polschuhen aufgeschraubt; der Anker A wird durch die Feder F gegen die Metallschiene L gedrückt; die Regulierungsschraube R ist von der Grundplatte durch eine Hartgummi oder Holzplatte isoliert. Wird durch den Drücker D der Strom geschlossen, so kreist er über m — die Magnetrolle — Grundplatte — P zurück zum Element; der Anker A wird angezogen, die Feder P′ legt

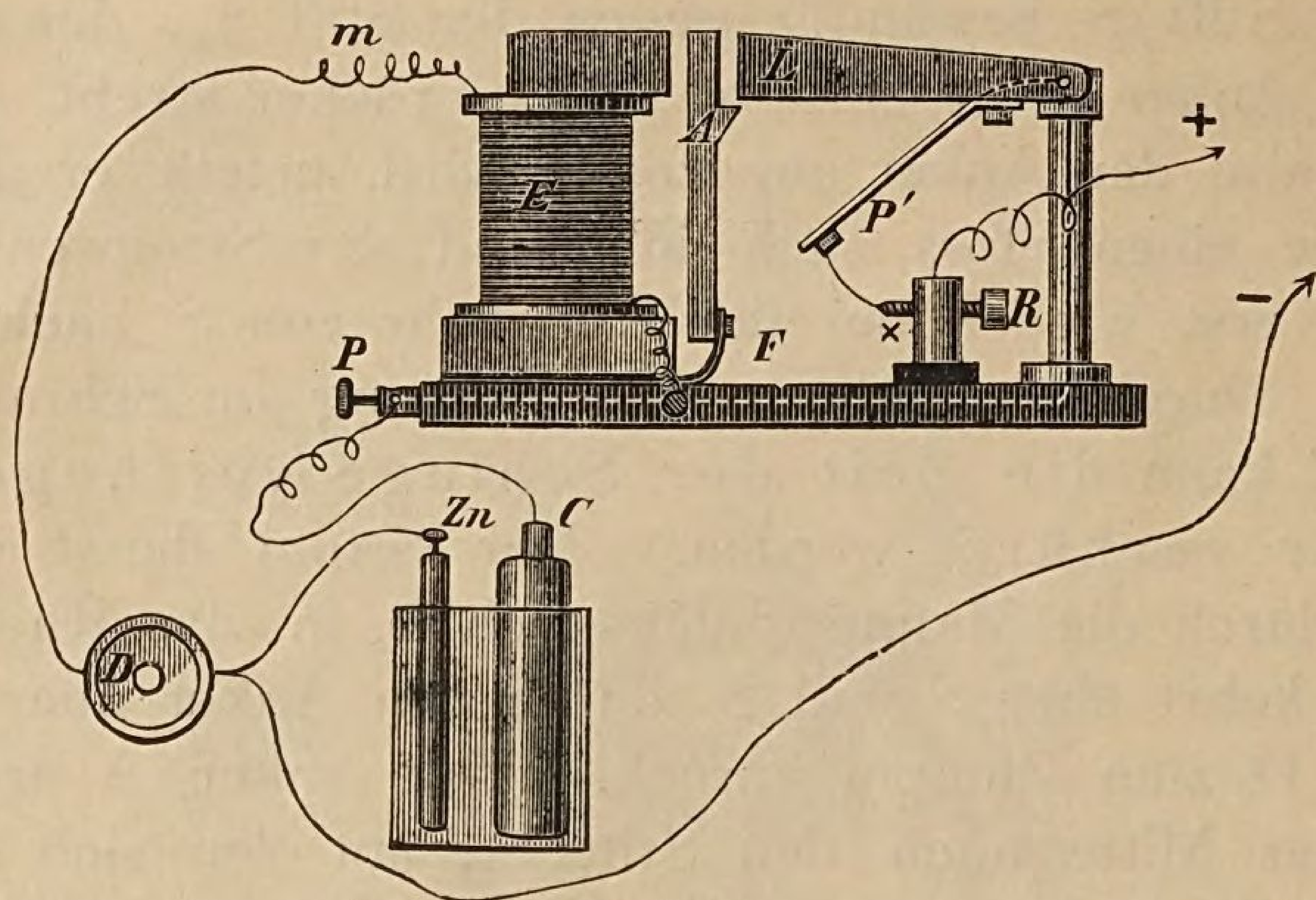


Fig. 171.

sich kräftig an x und der Strom kreist durch die Klingel zwischen + und — so lange, bis L wieder über die Nase von A gehoben wird.

Klingeln mit eingeschlossenen Elektromagneten.

I. In der sogenannten Fortunat-Glocke oder Jensen-Bell ist der Elektromagnet im Innern der Glocke selbst angebracht, wozu sich besonders die Form der Kirchenglocken eignet. Zu diesem Zwecke muss der Elektromagnet eine gedrungene Gestalt besitzen; an seinen einzigen Schenkel sind beiderseits Polschuhe aufgeschraubt. Der Anker ist um einen Stift drehbar und der Klöppel hält ihm das Gleichgewicht. Durch eine Schraube ist das Läutwerk an den Boden der Glocke befestigt. Verlangt man eine Einschlag-Glocke so genügt diese Einrichtung; um eine Fortschell-Glocke daraus zu machen, wird die Kontaktschraube mit dem Platinstift an einer nahezu bis zum Ende des Ankers reichenden Feder ange-

bracht. Die Schwingungen dieser Feder bewirken, dass die Berührungs- und Stromschlussstelle stets blank bleibt. (Fig. 171b).

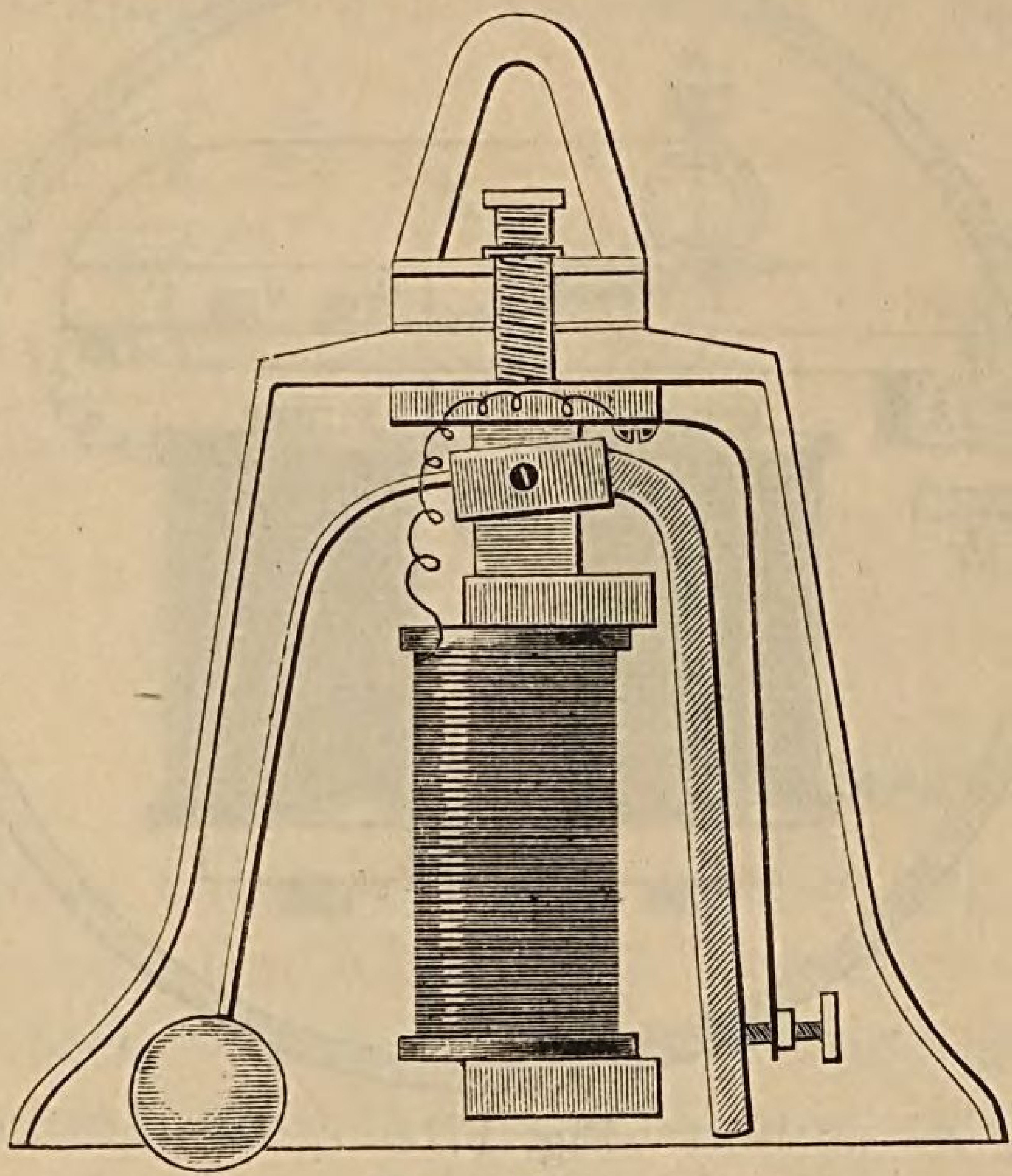


Fig. 171b.

Die ganze Anordnung ist so, dass ein verhältnismässig schwacher Strom eine starke magnetische Wirkung erregt, und sie gestattet daher die Anwendung selbst auf Kirchenglocken.

Der Hauptvorzug dieser Läutwerke besteht darin, dass sie im Freien anfgehängt werden können; sogar die Stromzuleitungsdrähte lassen sich vor dem Wetter geschützt anbringen.

II. Für gewöhnliche Glockenschalen giebt man dem Elektromagneten die Form der Figuren 171c—f. Die Magnetkerne sind an das Gussstück A bei K und K′ angeschraubt; der Anker ist mittels seiner Feder an das aufgebogene Stück t ange-

schraubt; die Polklemme n, an die sich die Unterbrechungsfeder anlehnt, ist die in n_1 durch Schraube

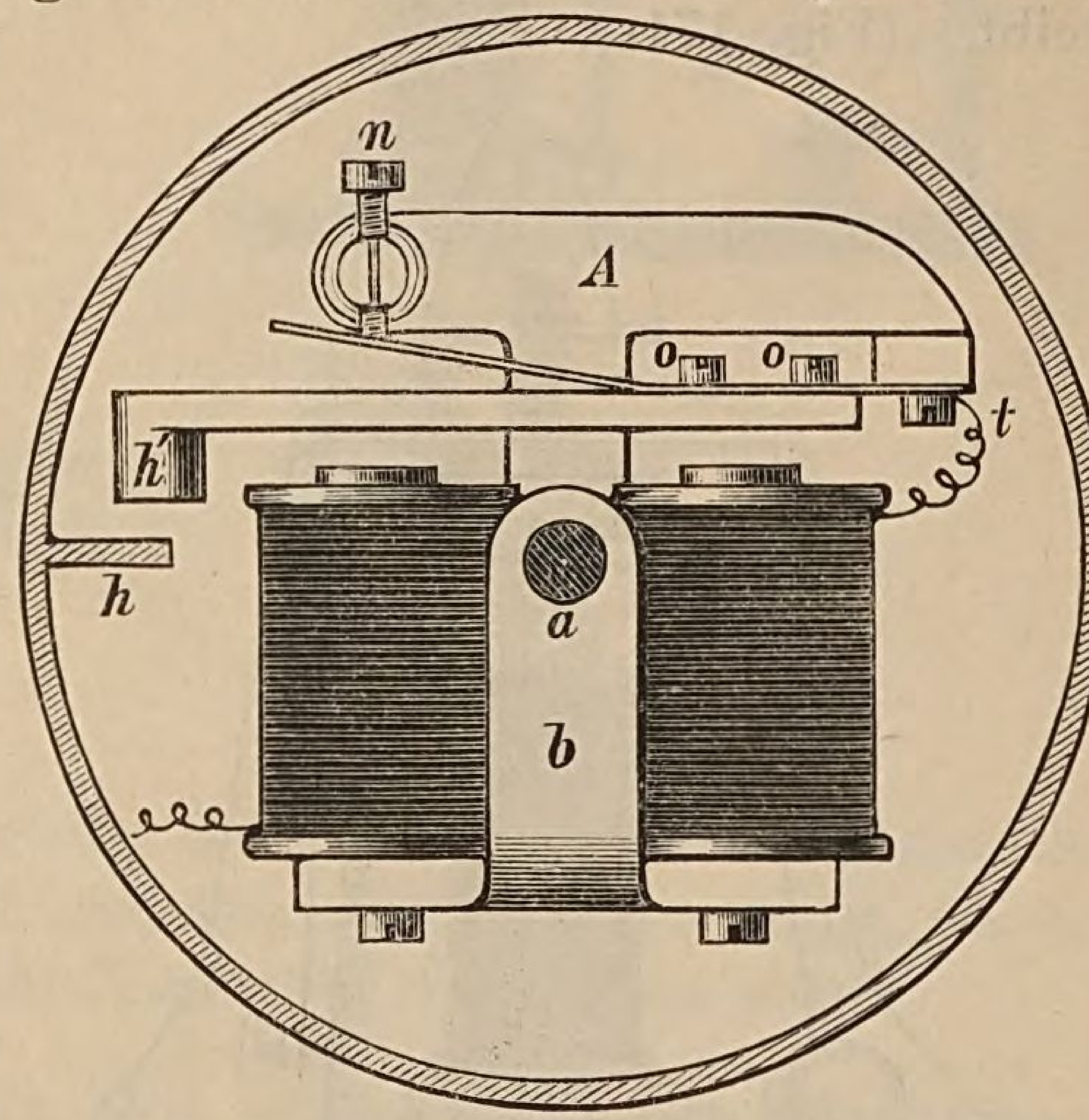


Fig. 171c.

m befestigt und durch die Ebonitstücke cc von A isoliert. In a des Trägers b ist das Messingstück B

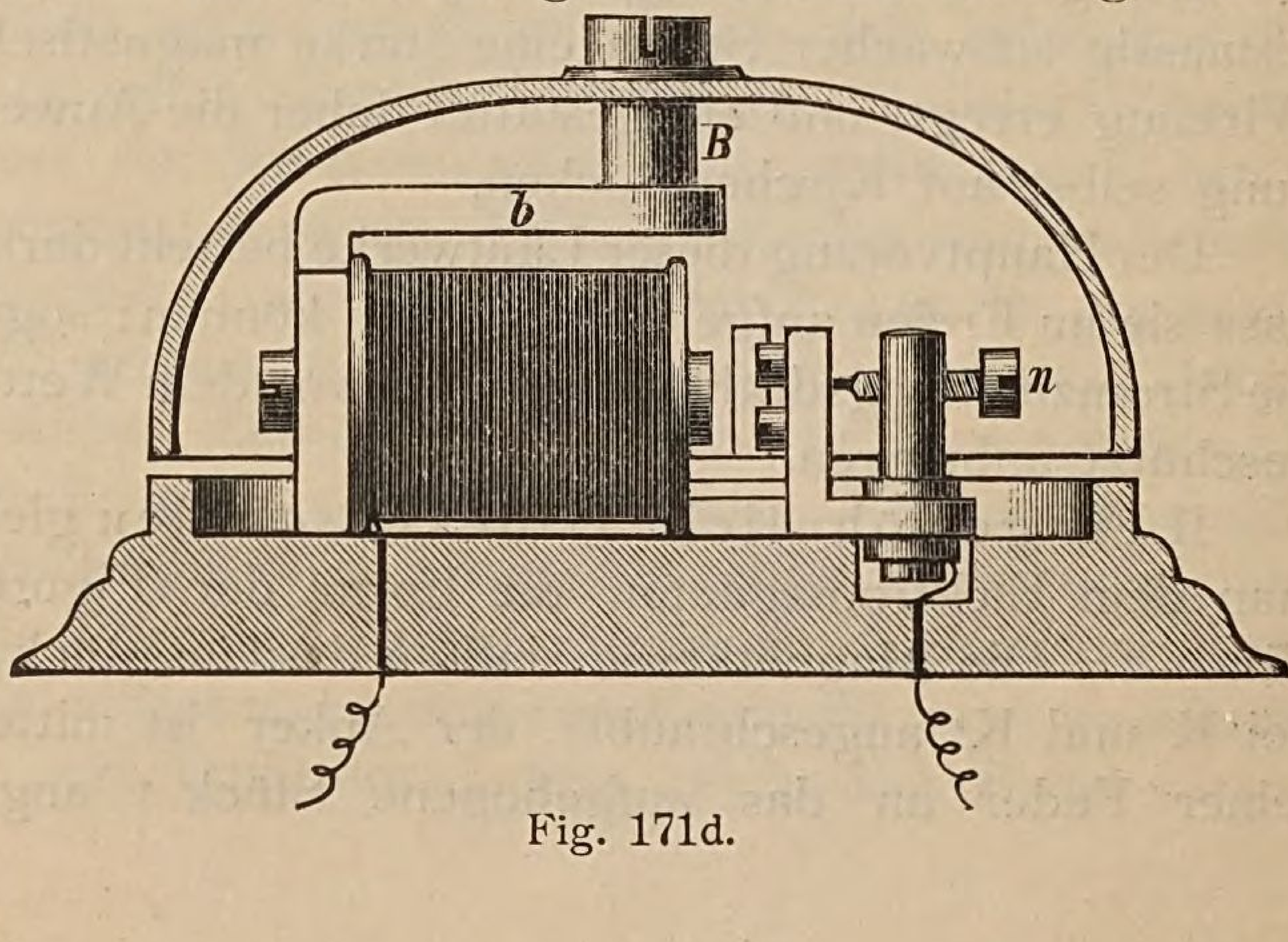


Fig. 171d.

eingeschraubt und auf B die Glockenschale. Die Schrauben o o befestigen die Feder an den Anker, der durch einen aufgeschraubten oder angegossenen Hammer h' gegen den Vorsprung h der Glocke

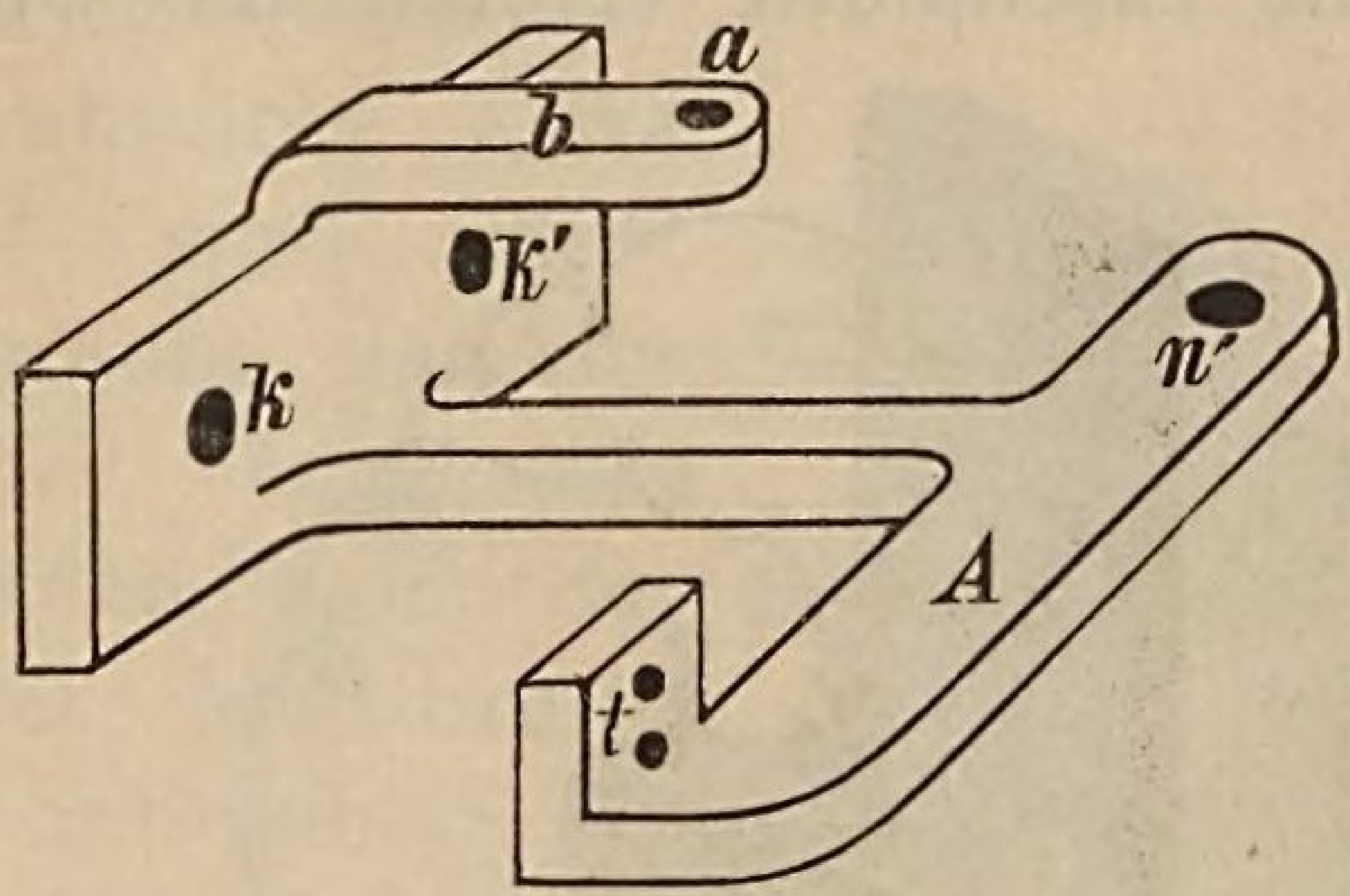


Fig. 171e.

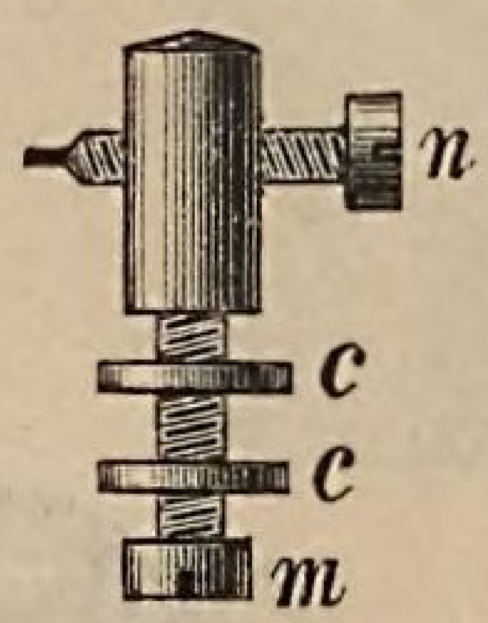


Fig. 171f.

schlägt; h ist entweder an die Glocke gegossen oder angeschraubt. Endlich ist das Gussstück A auf ein rundgedrehtes, poliertes Grundbrett geschraubt. Drahtdurchmesser 0,45 bis 0,55 mm, je nach der Länge der Leitung; 2 Braunstein-Elemente.

Die elektrische Trompete

(Fig. 172) kann eine Klingel besonders da ersetzen, wo schon andere Läutwerke in der Nähe sind. A ist ein Messingrohr, in dem ein gewöhnlicher Elektromagnet angebracht und dessen anderes Ende (A) durch eine dünne Eisenplatte (wie bei einem Telephon) geschlossen ist. Etwa $\frac{1}{3}$ des Durchmessers vom Rande dieser Eisenplatte ist ein kleines Platinplättchen nach aussen aufgelötet und diesem gegenüber steht die Platinspitze der Regulierungsschraube, die durch eine bei B abgebogene und daselbst isoliert aufgeschraubte Messinglamelle geht. Der eine

Poldraht und Magnetdraht ist an A angeschraubt, der andere führt über den Drücker nach B. Die Magnetkerne stehen der Eisenplatte sehr nahe gegenüber; der prismatische Anker der Läutwerke ist also hier durch die dünne Eisenplatte ersetzt, das Spiel

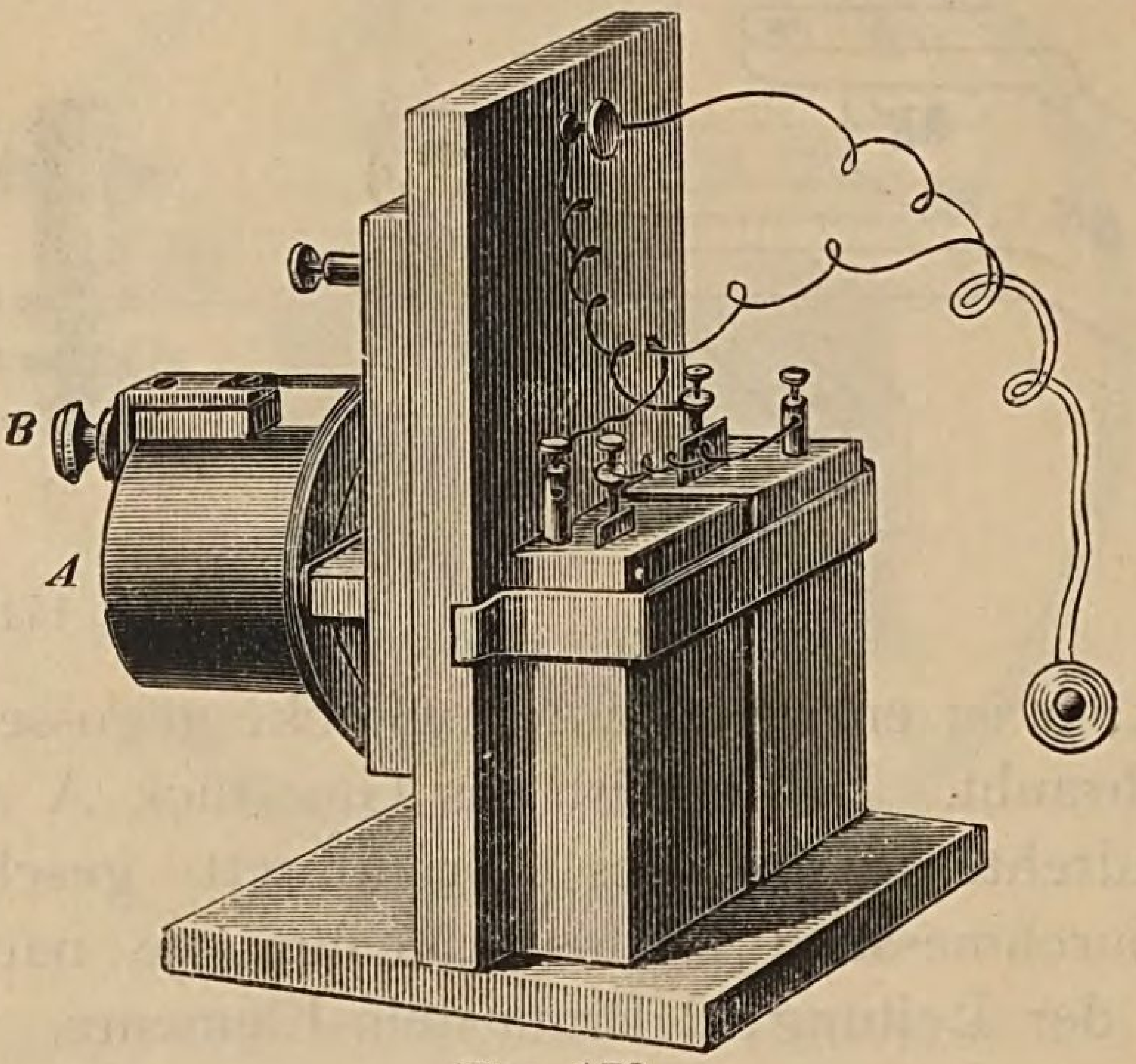


Fig. 172.

der Stromschlüsse ist dasselbe wie bei Klingeln. Die in Schwingungen versetzte Platte erzeugt einen trompetenartigen Ton, dessen Stärke und Klang von der Grösse, Dicke und Schwingungszahl der Platte abhängt.

Leichter anzufertigen ist die elektrische Feder (Fig. 173). Die Uhrstahlfeder MM' ist zwischen zwei Messingsäulchen (auch Holzblöckchen können verwendet werden) ausgespannt; sie ist 4 bis 10 cm lang, je nach ihrer Breite und Dicke und je nach dem Ton, den man zu haben wünscht. Der Träger T trägt die Schraube S, welche mit ihrer Platin-

spitze ein auf die Feder gelötetes Platinplättchen leicht berührt. Sobald die in der Figur angedeuteten Verbindungen durch den Drücker D mit dem kleinen einfachen Elektromagneten (Drahtdicke etwa 0,4 mm), der Schraube und der Feder hergestellt worden, beginnt das Spiel. Man bringt die Schraube S einem Säulchen ziemlich nahe, damit die Feder in der Mitte frei schwingen kann und der Stromschluss möglichst lange dauert, weil sich dann der Magnetismus im Elektromagneten besser entwickeln kann. In ähnlicher Weise wird eine gespannte Stahlsaite in dauernde Schwingungen versetzt. Vergl. Telephonische Verbindung mit einem fahrenden Eisenbahnzug.

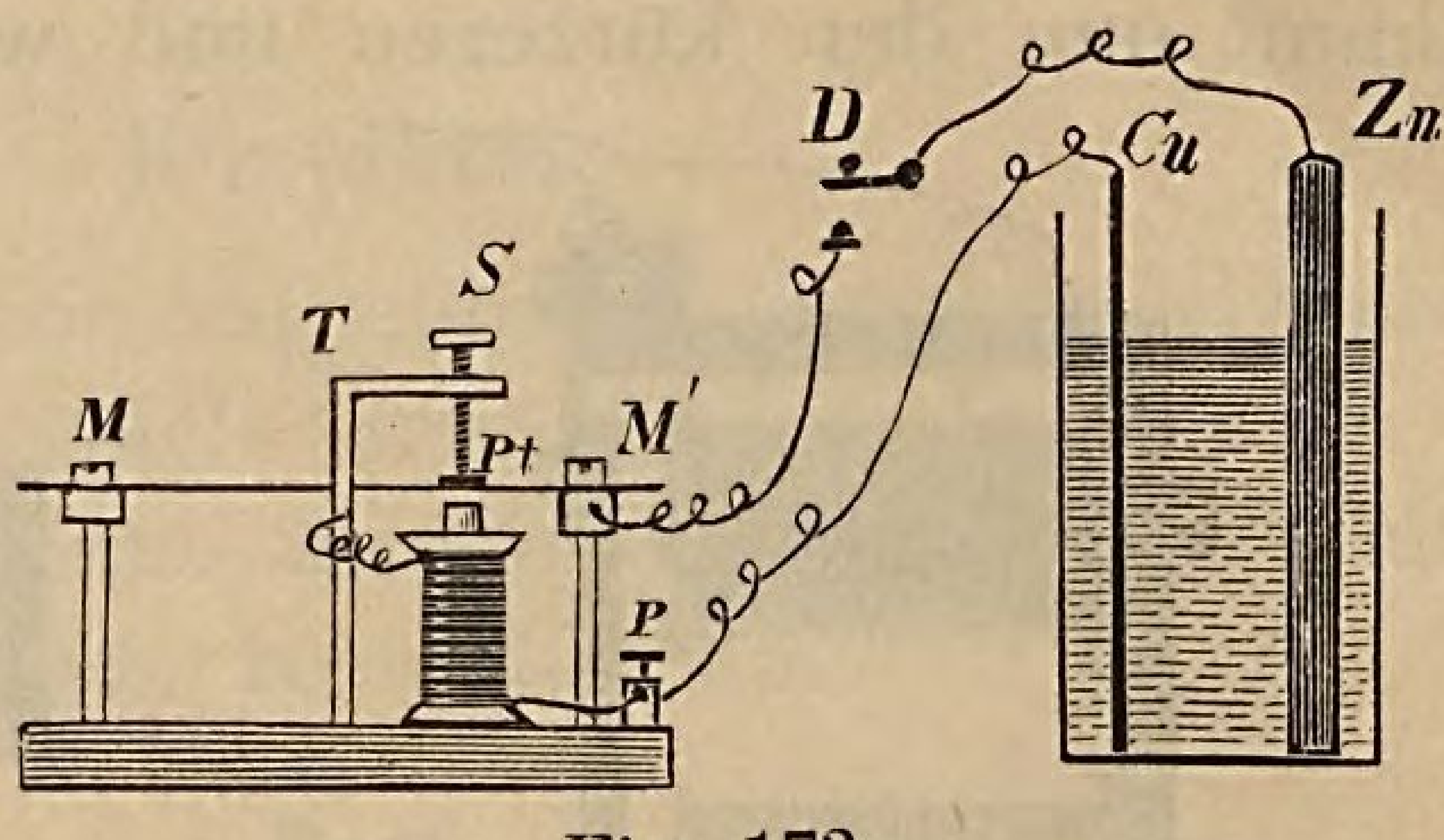


Fig. 173.

Das Einbohren eines so feinen Loches in die Schraubenspitze ist ziemlich schwierig, man kann dafür die Spitze mit der Laubsäge 3 bis 4 mm tief aufsägen, den in der Mitte umgebogenen Platindraht in den Schlitz einklemmen und verlöten; aber die Spitze muss vom Lot frei bleiben. Man reicht so auch mit ziemlich dünnem Platindraht aus.

Eine Klingel für Reihenschaltung.

(Fig. 174.) Wir erkennen aus der Figur zunächst die Konstruktion einer Einschlagglocke; an dem Anker ist aber noch eine Kontaktfeder F angebracht, die sich an die Regulierungsschraube R anlegt. Der

Strom fliesst durch die Magnetrollen, zieht den Anker gegen die Eisenkerne, wird aber durch die Regulierungsschraube sogleich wieder geschlossen und nimmt nun den kürzeren und weniger Widerstand

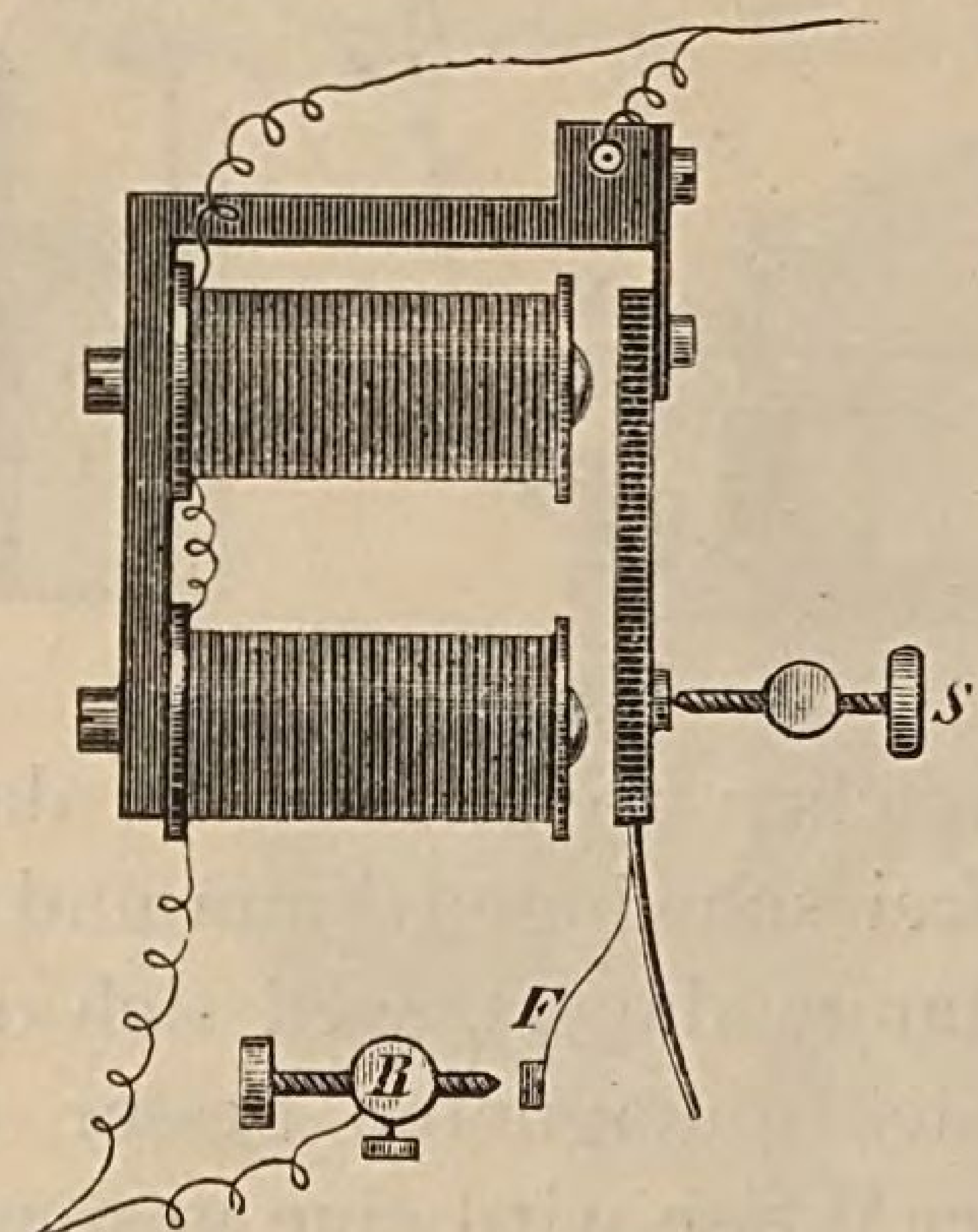


Fig. 174.

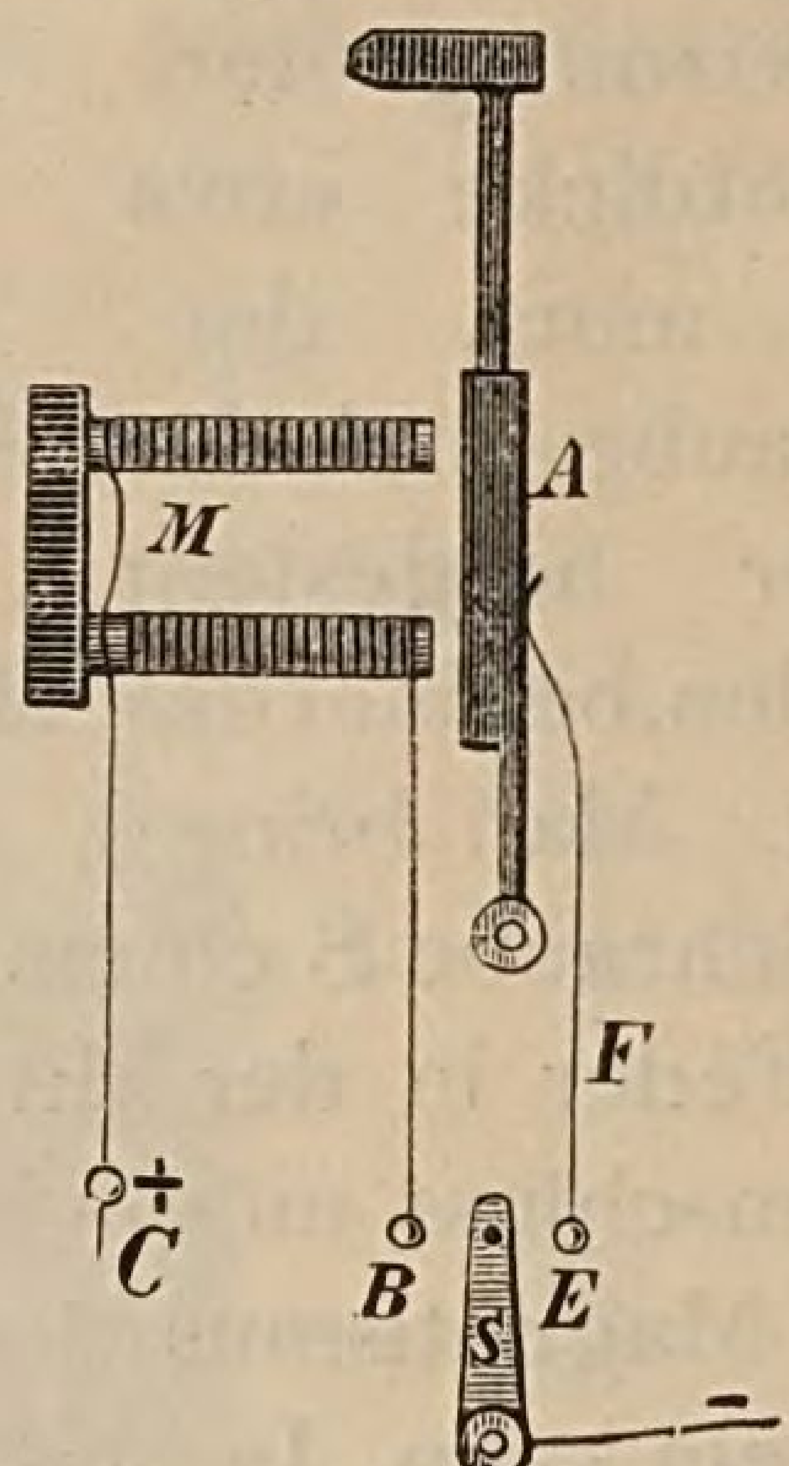


Fig. 175.

leistenden Weg über den Anker; er wird somit nicht unterbrochen, sondern durch Nebenschluss an den Magnetrollen vorbeigeleitet. Mit dieser Vorrichtung kann eine beliebige Anzahl Klingeln in den gleichen Stromkreis eingeschaltet werden. Indessen ertönt eine solche Klingel bei derselben Stromstärke nicht so energisch als ein gewöhnliches Rasselwerk.

Einschlagglocke und Rasselwerk vereinigt.

(Fig. 175.) Unsere schematische Figur zeigt, wie man in einfacher Weise ein Läutwerk sowohl als Einschlagglocke wie als gewöhnliche Klingel anordnen kann. Legt man den Schlüssel S auf den Kontakt B, so ist die Feder F ausgeschaltet, man hat

eine Einschlagglocke; legt man den Schlüssel S auf den Kontakt E, so zirkuliert der Strom durch F — A — M nach C, man hat ein Rasselwerk.

Kontakte.

Ausser den schon aufgeführten Drückern (Druckknöpfen) und Schlüsseln deuten wir, denn ihre zu verschiedenen Zwecken dienenden Arten sind zahllos, nur noch folgende Kontakte an.

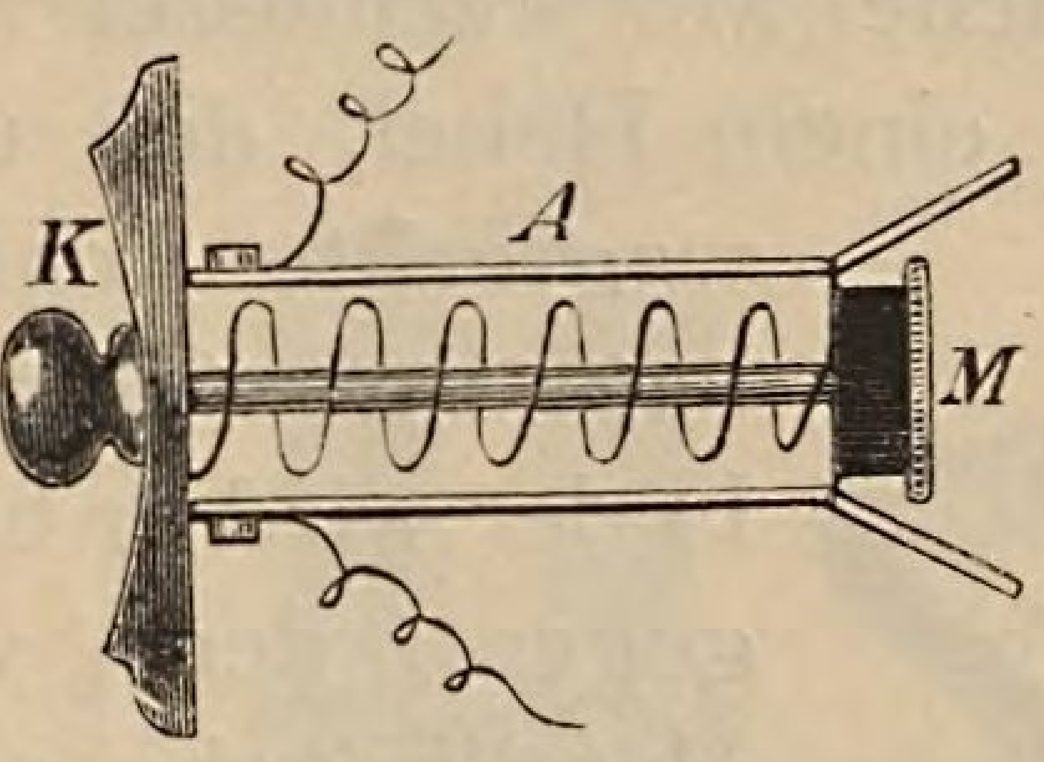


Fig. 176.

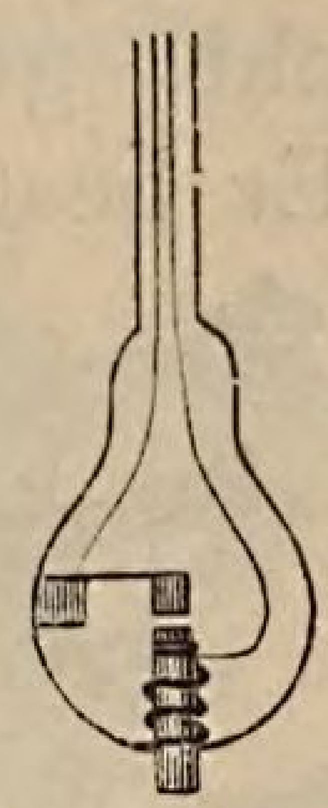


Fig. 177.

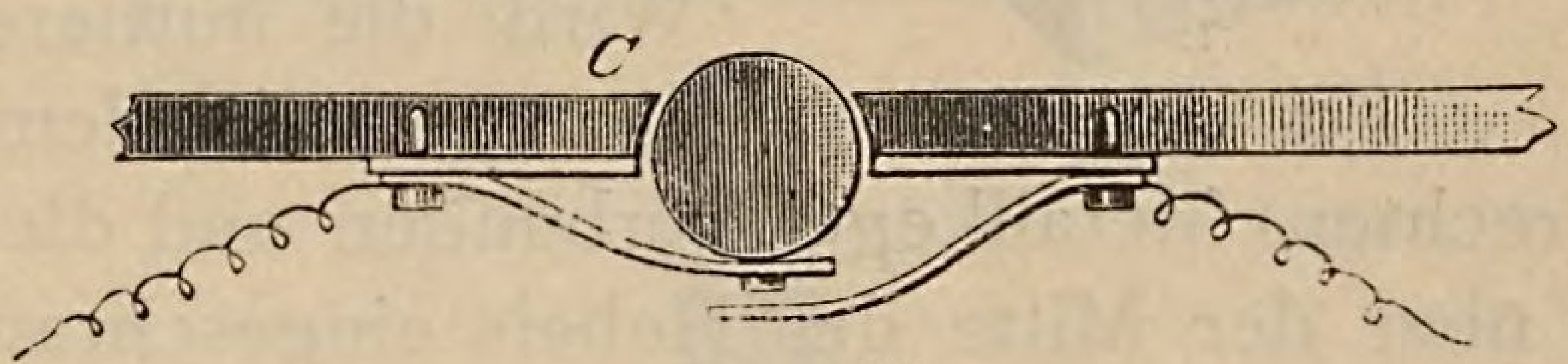


Fig. 178.

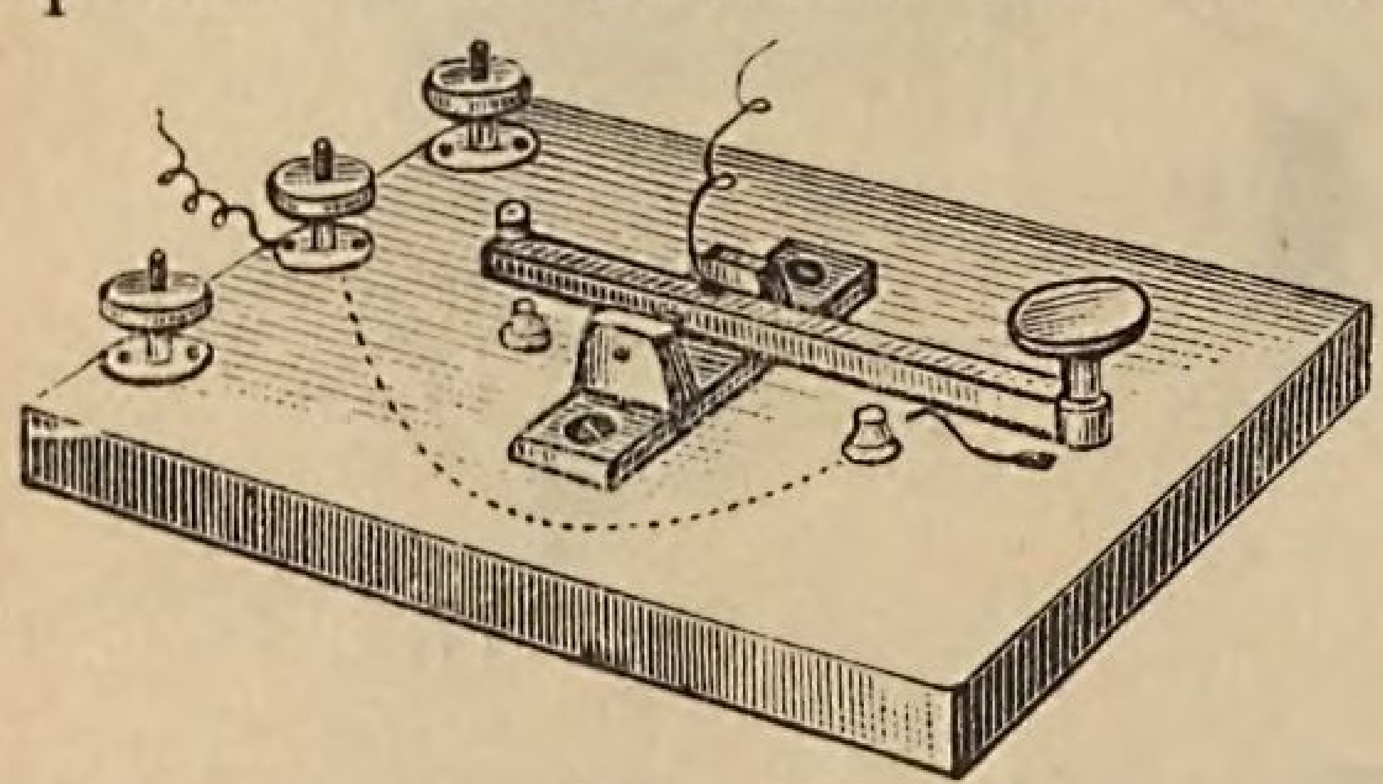
Der Zugschlüssel (Fig. 176) wird in die Wand eingelassen. Sobald man an dem Kopfe K, wie an einer mechanischen Hausglocke zieht, kommt die an eine Gummi- oder Holzscheibe angeschraubte Metallscheibe M mit den horizontalen, starken Messingfedern A in Berührung und bewirkt Stromschluss.

Der Druckknopf (Fig. 177) hat Birnform; ein Druck von unten bringt die mit Platin besetzten Messingstücke in Berührung; die Spiralfeder entfernt sie wieder. Dieser Drücker wird gerne über Tischen an seidenumsponnenen Leitschnüren aufgehängt.

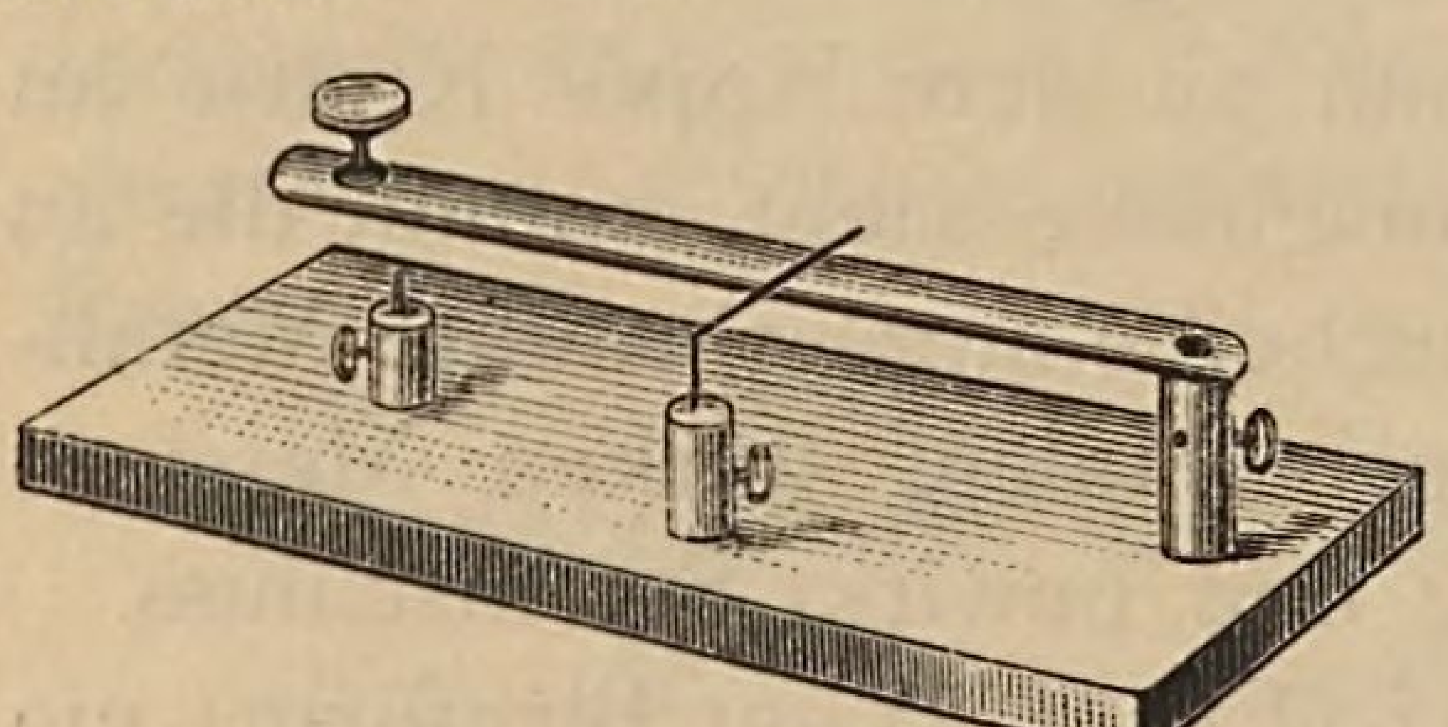
Der Tretschlüssel (Fig. 178) ist der Drücker, der unter dem Tisch und unter dem Fussboden eingeschraubt ist. Es muss aber dafür gesorgt sein, dass der Kontakt nicht durch Staub, Schmutz, Feuchtigkeit verhindert wird.

Der Morseschlüssel.

(Fig. 179 und 180.) Um bestimmte verabredete Zeichen auch mit Klingeln abzusenden, ist der in der Telegraphie gebräuchliche Morseschlüssel sehr bequem. Er besteht aus einem Hebel, der um eine


Fig. 179.

wagrechte Achse drehbar ist. Durch eine Feder wird er beständig gegen den vorderen Metallkegel gedrückt. Wird die mittlere Polklemme mit dem hinteren (rechten) Metallkegel verbunden und die Fortleitung über der Mitte des Hebels eingeschraubt, so erfolgt Stromschluss, so oft man den Hebel niederdrückt.


Fig. 180.

Wie man mit den einfachsten Mitteln einen solchen Schlüssel anfertigt, zeigt die Figur 180. Von 3 messingenen Klemmschrauben auf einem Brettchen von etwa 12 cm Länge, 8 cm Breite und 1 cm Dicke trägt die eine einen Streifen von starkem, federnden Messingblech, auf welchem am andern

Ende durch eine von unten eingetriebene Holzschraube der Druckknopf befestigt ist. Von der mittleren Klemme her lehnt sich ein starker Draht an den Messingstreifen.

Das Relais.

(Fig. 181.) Hat man ein Läutwerk in so beträchtlicher Entfernung in Thätigkeit zu setzen, dass eine einfache Batterie dessen Elektromagneten nicht mehr kräftig genug erregt, um ein deutliches Zeichen

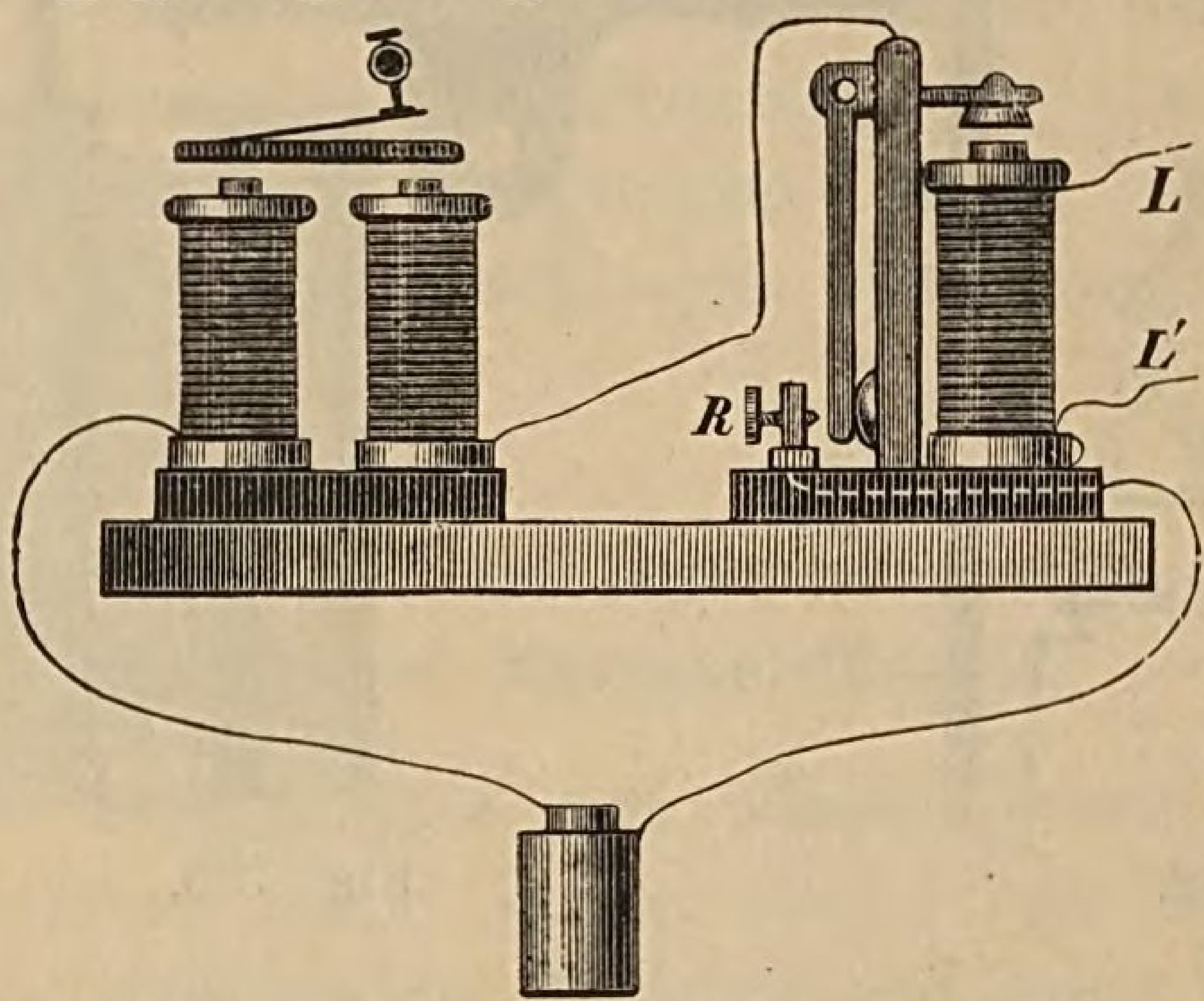


Fig. 181.

zu bewirken, so ist der Strom (0,01 Amp. im Telegraphendienst) doch noch imstande, einen leicht beweglichen Anker anzuziehen und damit einen Lokalstrom, d. h. einen Strom, der sich am Orte der Klingel befindet, in diese Klingel einzuschalten.

Indem der Fernstrom den Elektromagneten (rechts) erregt, zieht dieser seinen, an einem rechtwinkligen Hebel sitzenden Anker herbei. Der senkrechte Hebelarm lehnt sich an die Regulierungsschraube R an und schliesst so den Lokalstrom in den Elektro-

magneten (links) ein; den Schlüssen des Linienstroms L und L′ entsprechen dann die Schlüsse des Lokalstroms. Maassstab $\frac{1}{2}$ bis $\frac{1}{3}$ nat. Gr.

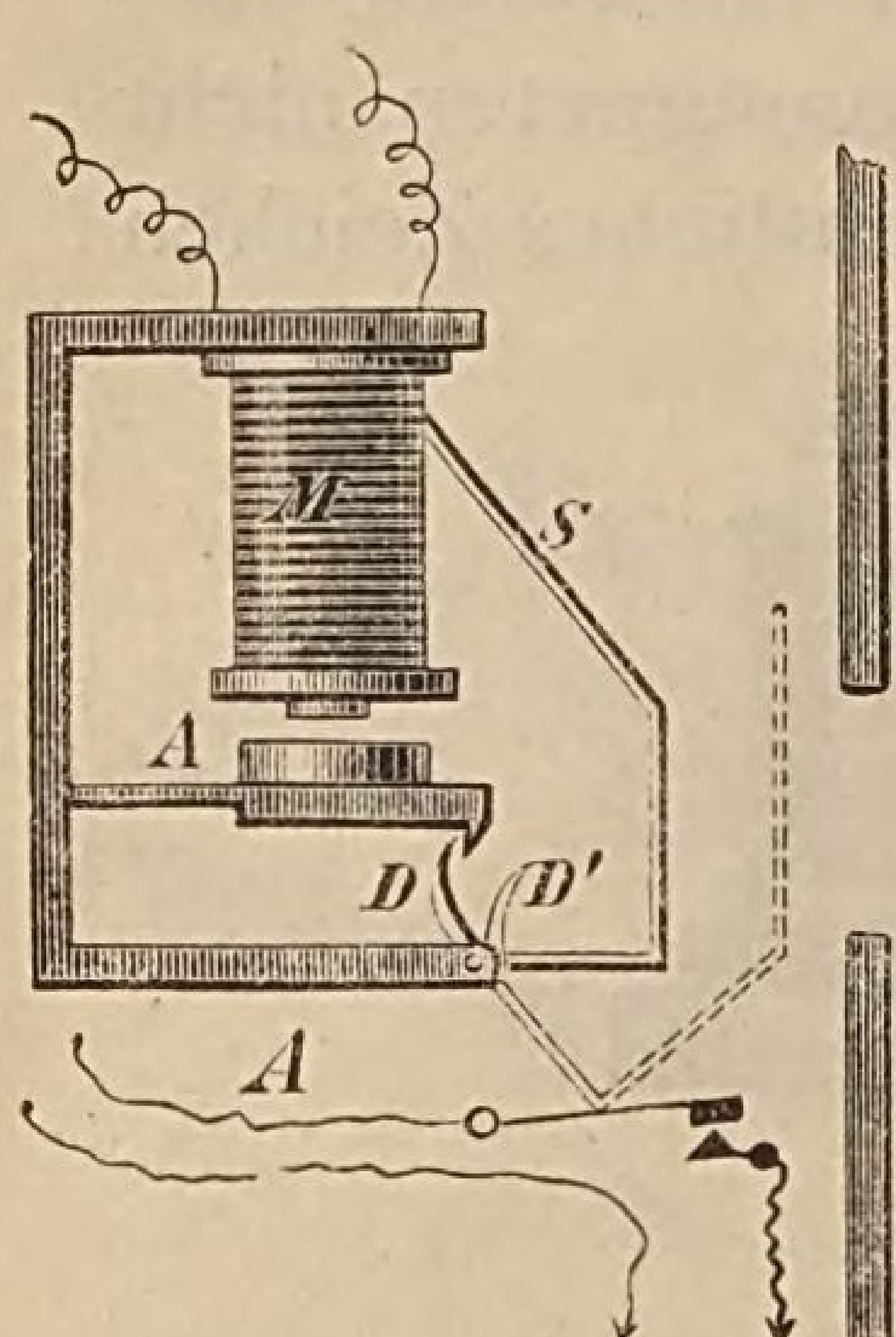


Fig. 182.

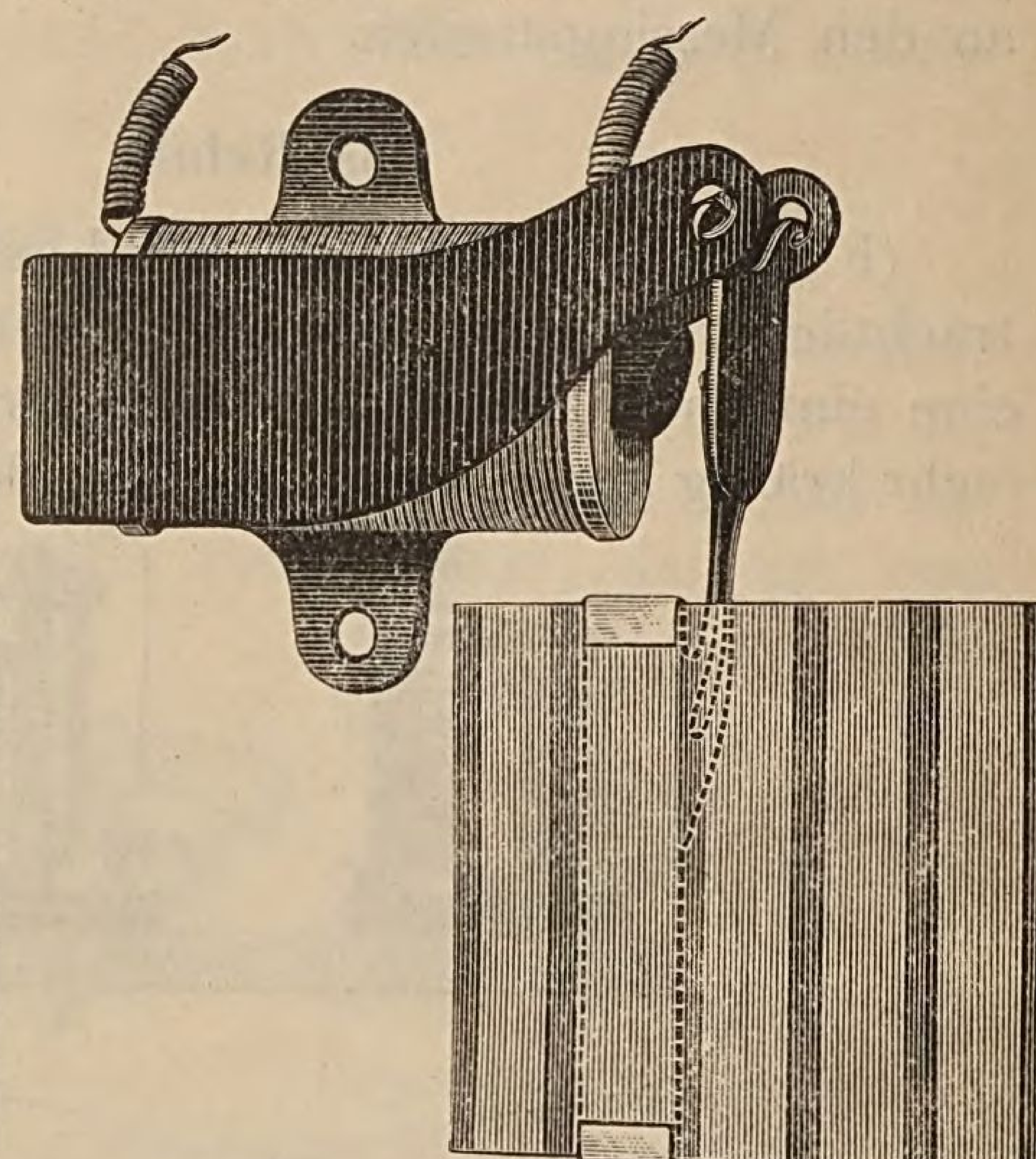


Fig. 183.

Klappen und Pendelanzeiger.

Man hat auch Vorrichtungen ersonnen, mit denen es möglich ist, dem Aufwärter mitzuteilen, aus welchem der Zimmer einer grösseren Wohnung das Klingelzeichen gegeben wird. Von den zahlreich vorhandenen Apparaten erwähnen wir nur zwei (Fig. 182 und 183).

Fig. 182. Die Klappe. Während die Spirale M stromlos ist, hält eine Nase des Ankes die Scheibe S mittels des Hebelarms D fest; zirkuliert der Strom, so wird die Nase nach oben gezogen, die Klappe

S fällt in die gestrichelte Stellung und zeigt die auf ihr gezeichnete Nummer durch die Wand hindurch. Der Wärter schlägt sie in ihre erste Lage zurück und so ist sie zu ferneren Diensten bereit. Sobald die Klappe S fällt, schliesst sie selbst den Strom zum Läutewerk. Maassstab $\frac{1}{2}$ bis $\frac{1}{3}$ nat. Gr. Drahtdurchmesser 0,5 mm; 6 Lagen.

(Fig. 183.) Der Pendelanzeiger wirkt sehr zuverlässig. Er besteht aus einem Elektromagneten (ein- oder zweischenklig), der den um eine Achse leicht beweglichen Anker herbeizieht. Da das Pendel nach mehreren Schwingungen selbst zur Ruhe kommt, ist ein Zurückschlagen überflüssig. Maassstab $\frac{1}{2}$ bis $\frac{1}{4}$ nat. Gr.

Telegraphieren mittels einer einfachen Klingel und eines Morseschlüssels.

In der Telegraphie mit Morseapparat werden die Buchstaben durch kurze und lange Striche, in der Haustelegraphie durch kurze und lange Glockenzeichen dargestellt. Diese Glockensignale müssen, ebenso wie die Telegraphensignale, mit Genauigkeit und Regelmässigkeit gegeben werden; man hat dabei ebenso pünktlich zu sein, wie wenn man ein Musikstück auf einem Klavier spielt, wofern die Zeichen verstanden werden sollen. Die Striche haben genau doppelt so lange Zeichen zu erhalten als die Punkte, und zwischen zwei Wörtern ist die dreifache Zeit zu pausieren. Das Zeichen „verstanden“ kann verabredet werden mit den Zeichen von e, und nicht verstanden mit dem von i.

Morseschrift für Klingeltelegraphie.

a	. —	j	. — — —	s	. . .	1	. — — — —
b	— . . .	k	— . —	t	—	2	. . — — —
c	— . — .	l	. — . .	u	. . —	3	. . . — —
d	— . .	m	— —	v	. . . —	4	 —
e	.	n	— .	w	. — —	5	
f	. . — .	o	— — —	x	— . . —	6	—
g	— — .	p	. — — .	y	— . — —	7	— — . . .
h		q	— — . —	z	— — . .	8	— — — . .
i	. .	r	. — .	ch	— — — —	9	— — — — .
ä	. — . —	ö	— — — .	ü	. . — —	0	— — — — —

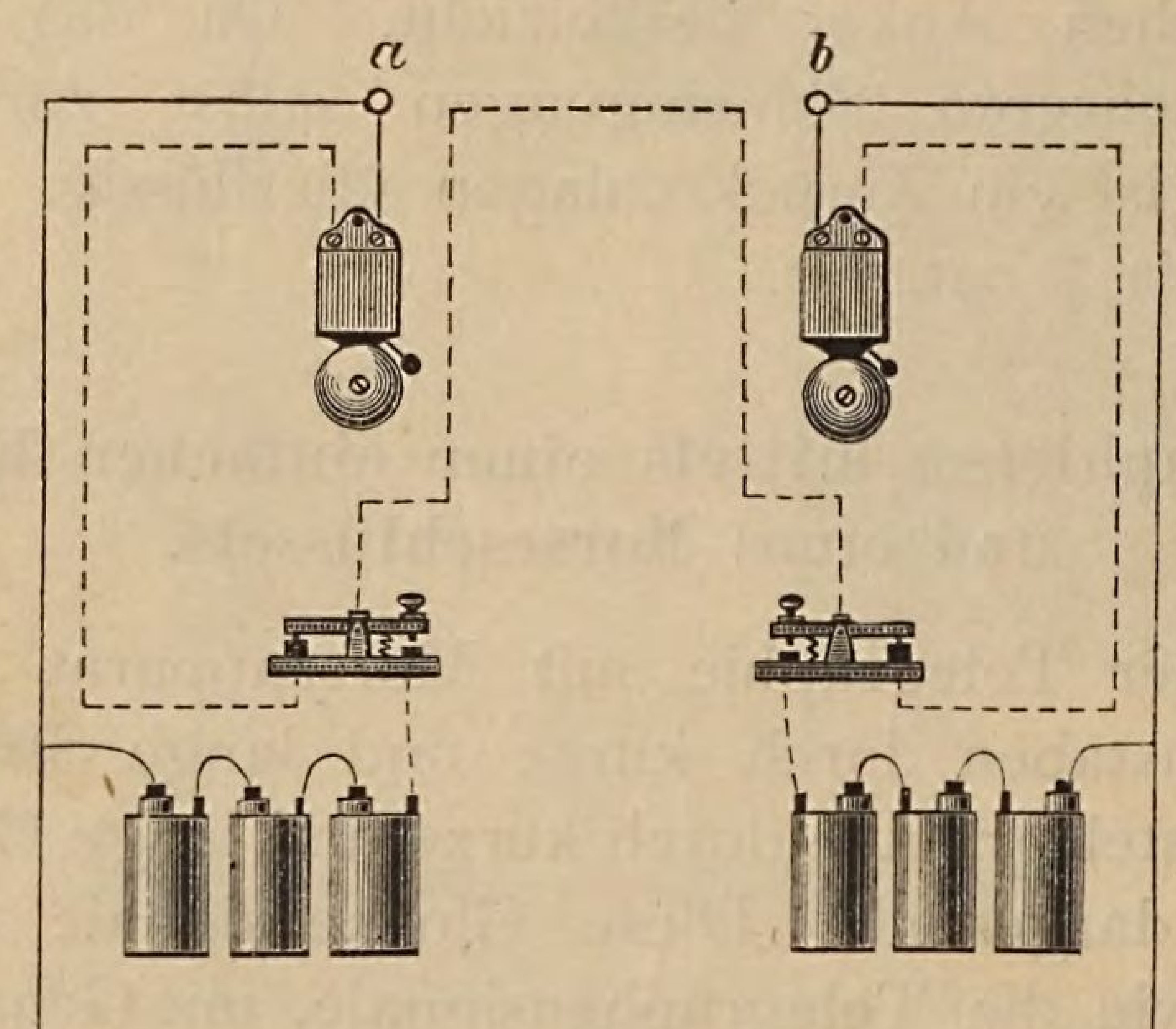


Fig. 184.

Leitungsskizze und Kostenanschläge. (Fig. 184.)

6 Elemente	11,40
2 Morsetaster	10,00
2 Signalglocken	5,00
1 Kilo verzinnte Stifte .	1,00
2 kg Leitungsdraht . . .	4,80
Guttaperchapapier . . .	0,20
zusammen	32,40

hierzu kommen noch Erdplatten und deren Zuleitungen, Porzellanisolatoren und verzinkte Drähte für Aussenleitung. Will man die Anlage mit zwei Drahtleitungen ausführen, so schliesse man die zweite Leitung bei a und b an, wobei dann natürlich die Erdplatten wegfallen.

Uebertragung der Morsezeichen in Buchstaben.

Um sich mit den Morzezeichen vertraut zu machen, dient Schema 185. Um zu wissen, welchem Buchstaben eine gegebene Zeichenverbindung entspricht, beginnt man oben, wo das Schema sich gabelt und hat für e einen Punkt; für h vier Punkte; für

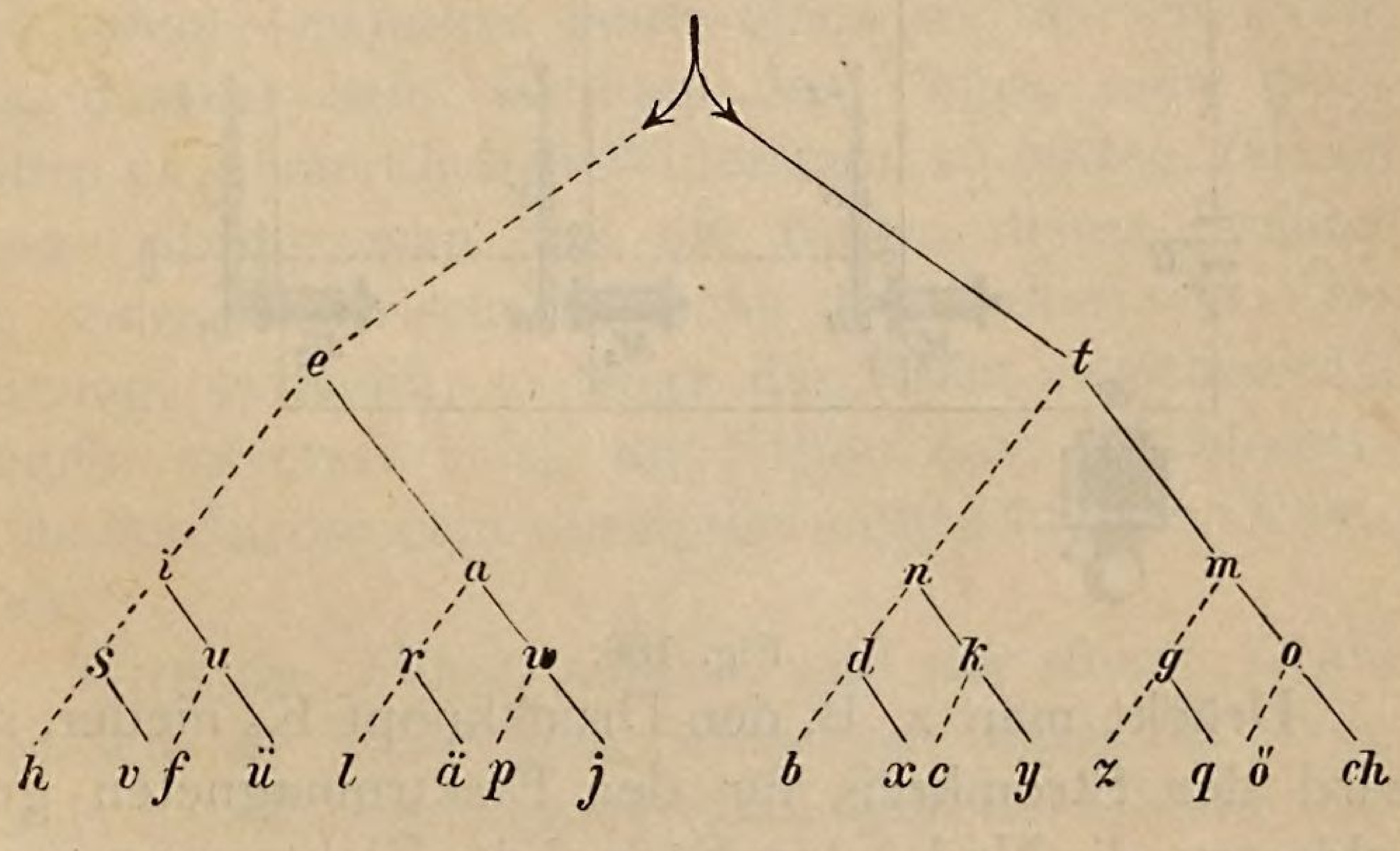


Fig. 185.

a einen Punkt und einen Strich . —; für n einen Strich und einen Punkt — .; für z zwei Striche und zwei Punkte — — . .; für y — . — — u. s. w.

Der Hotel-Nadeltelegraph.

(Fig. 186.) In einem Kasten sind mehrere kleine Elektromagnete angebracht, deren Umwindungen so liegen, dass ein von der Batterie B aus dieselben umfliessender Strom das der Magnetnadel zugekehrte Kernende so magnetisiert, dass die Kernpole denen der Nadel entgegengesetzt sind. In der Skizze sind die Magnetnadeln unten nordmagnetisch, während die oberen Enden die Südpole bilden.

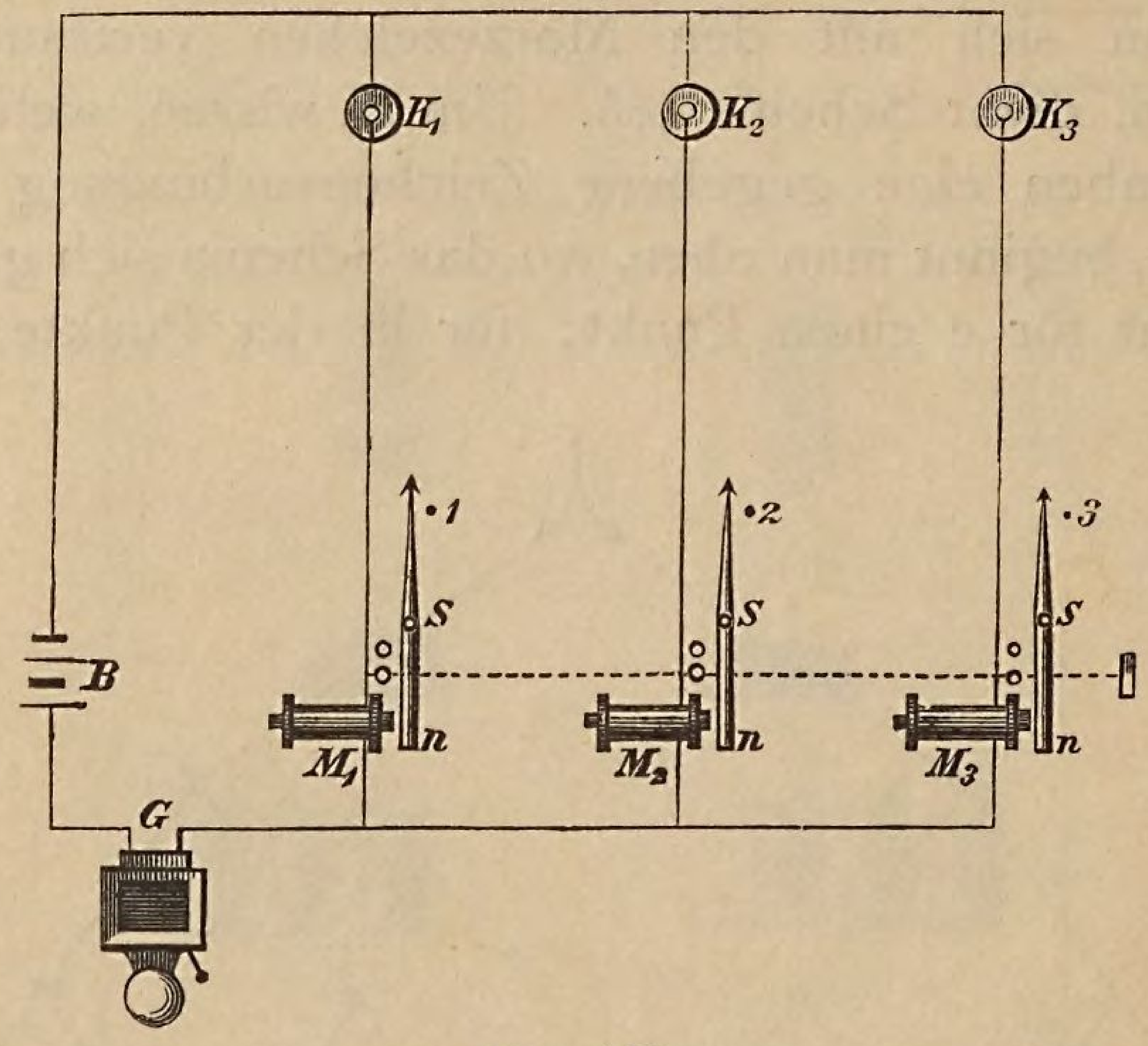


Fig. 186.

Drückt man z. B. den Druckknopf K_2 nieder, so wird der Stromkreis für den Elektromagneten geschlossen, die Nadel vom Südpol des Elektromagneten angezogen und der auf den Südpol gesetzte Zeiger, aus leichterem nicht magnetischem Metall (Aluminium) bestehend, zeigt auf die rechts liegende Nummer 2. Gleichzeitig läutet die zwischen Tableau und Batterie eingeschaltete Glocke G.

Wenn der Druckknopf frei gegeben wird, so verschwindet zwar der Strom aus der Leitung, die Magnetnadel bleibt aber an dem Kerne hängen, bis die durch das Glockenzeichen herbeigerufene Person mittels der federnden Zugstange Z, deren Stifte o bei einer Bewegung nach rechts die abgelenkten Nadeln erfassen, in die Ruhelage zurückbringt.

In neuester Zeit finden diese Nadeltelegraphen nur noch selten Anwendung; man zieht ihnen die Tableau-Anzeiger mit Fallscheiben oder Klappen vor.

Selbstthätige Meldeapparate.

a. Thüre mit Sicherheitsvorrichtungen (Fig. 187.) Figur rechts. Man schlage in die Thüre sowohl als in das Thürfutter je einen kurzen Nagel und spanne zwischen beide einen so dünnen Draht aus, dass er beim Oeffnen der Thüre, ohne demselben einen merklichen Widerstand zu leisten, reissen muss. Bringt man nun die Enden dieses Drahtes mit einer elektrischen Glocke und Batterie in Verbindung, so bleibt, so lange der Draht zwischen den Nägeln unversehrt ist, der Strom kurz geschlossen, d. h. der Strom geht durch das eingeschaltete Drahtstück.

Wird die Thüre geöffnet und der dünne Draht zerrissen, so bleibt dem Strom nur noch der Weg durch die Elektromagnet-Windungen der Glocke und diese tritt in Thätigkeit. Siehe Ruhestromklingel!

b. Figur links. An den Beschlag der oberen Thürangel ist mit demselben leitend verbunden ein blanker Kupferdraht a geschraubt. Etwas weiter unten ist ein Metallblech b an das Thürfutter ge-

schlagen, welches so weit zurückgebogen wird, dass es den Kupferdraht a bei geschlossener Thüre nicht berührt. Erst wenn letztere geöffnet wird, treten a und b in leitende Verbindung und bieten so dem Strom

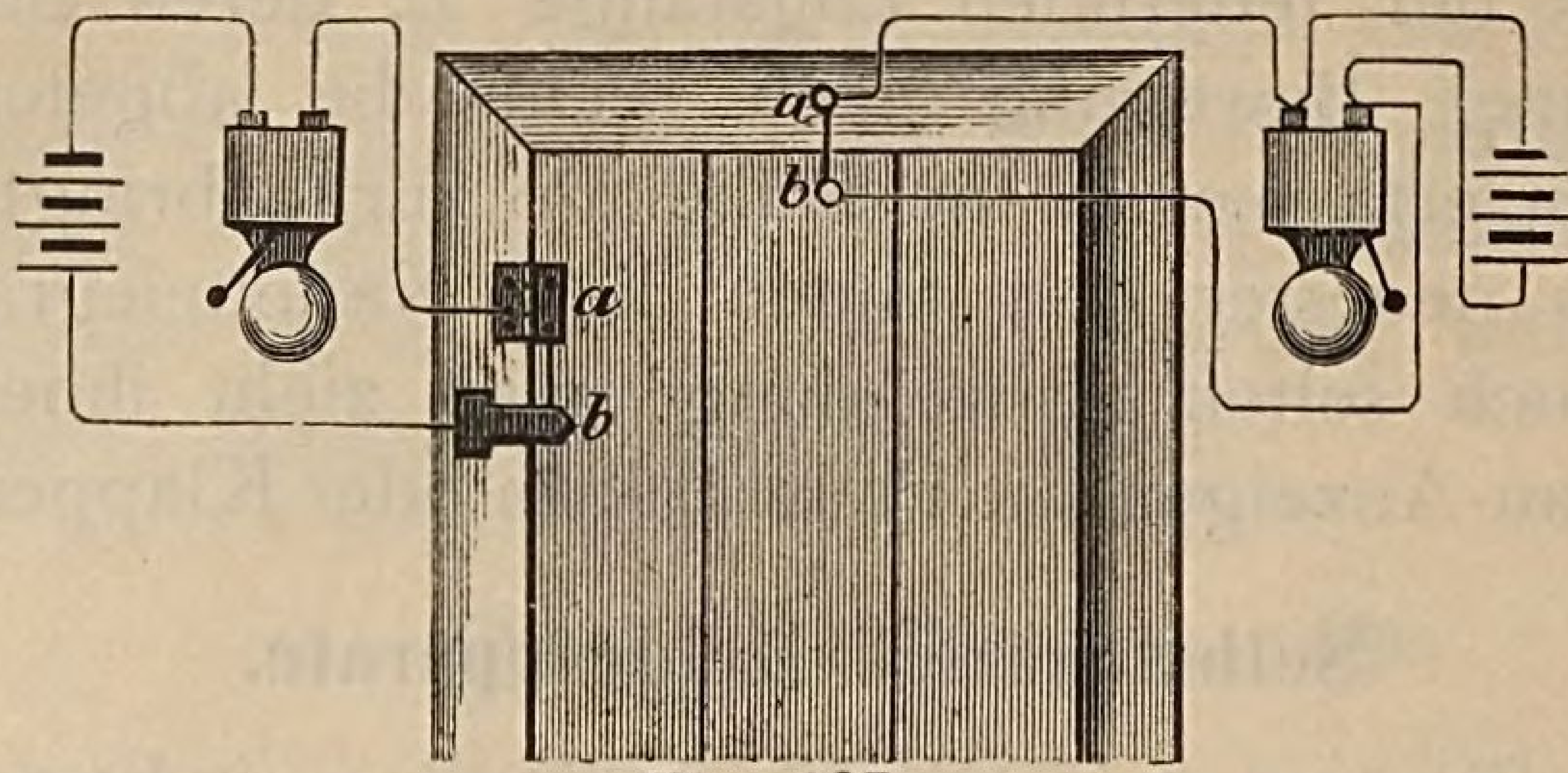


Fig. 187.

aus der Batterie einen Weg zur Glocke, welche, wenn sie mit einem Selbstunterbrecher versehen ist, so lange läutet, bis die Thüre wieder geschlossen wird.

c. Die eben beschriebenen Vorrichtungen dienen nur zur vorübergehenden Anwendung, zum dauernden Gebrauch empfiehlt sich folgende Kontakteinrichtung (Fig. 188).

Die Metallplatte A A wird vollständig in den Thürpfosten eingelassen, so dass sie mit der Oberfläche derselben abschliesst. An die innere Fläche dieser Metallplatte ist unten ein Kontaktstück c isoliert aufgesetzt; gegen letzteres legt sich, so bald und so lange die Thür geöffnet ist, die mit ihrem obern Ende ebenfalls an die Platte A A angeschraubte und mit ihr leitend verbundene Feder f. Schliesst man die Thüre, so drückt dieselbe durch den nach innen beweglichen Vorsprung k auf die Feder f und entfernt dieselbe vom Kontaktstücke c. Ist jene mit dem einen und das isolierte Kontaktstück c mit dem andern

Zuführungsdrahte zur Batterie, in deren Stromkreis eine elektrische Glocke mit Selbstunterbrechung liegt, verbunden, so wird letztere bei offener Thüre fortwährend läuten.

d. In der Nähe der Oberkante der Thüre befestigt man beim Schlossrande eine Schnur, zieht sie durch zwei übereinander im Thürfutter der Angelseite eingeschlagene Ösen und hängt ein Metallgewicht an die Schnur. Beim Öffnen der Thüre senkt sich das Gewicht und drückt zwei in das Thürfutter eingeschraubte Metallstreifen zusammen, an welche die Leitungsdrähte des Elementes angeschraubt sind oder taucht es in Quecksilber; in den einen Leitungsdraht ist das Läutwerk eingeschaltet. Diese einfache Vorrichtung lässt sich auch zu Alarmsignalen verwenden. Vergl. Feuersgefahr.

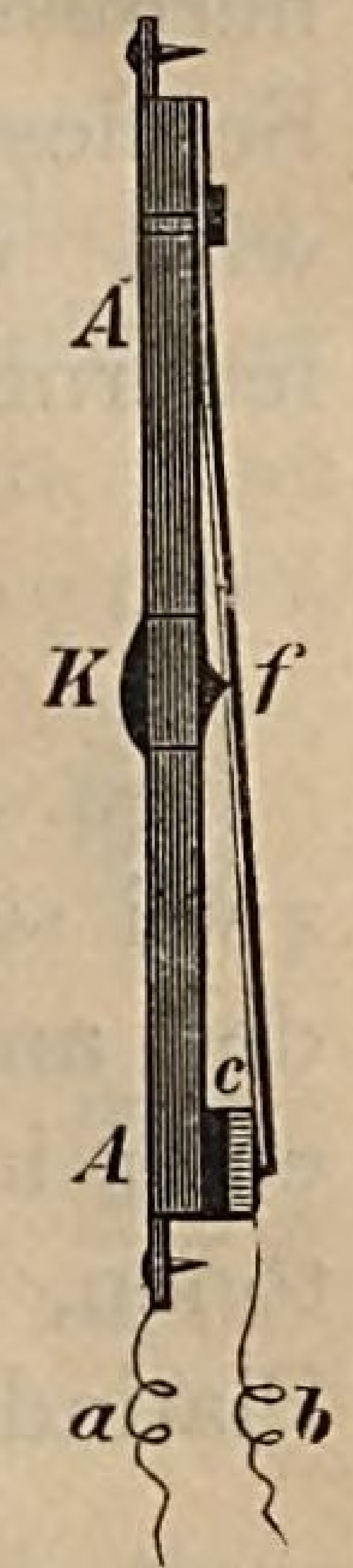


Fig. 188.

e. Genügt ein vorübergehendes Ertönen der Glocke beim Öffnen und Schliessen der Thüre, so wird man einen sogenannten Schleifkontakt anbringen (Fig. 189).

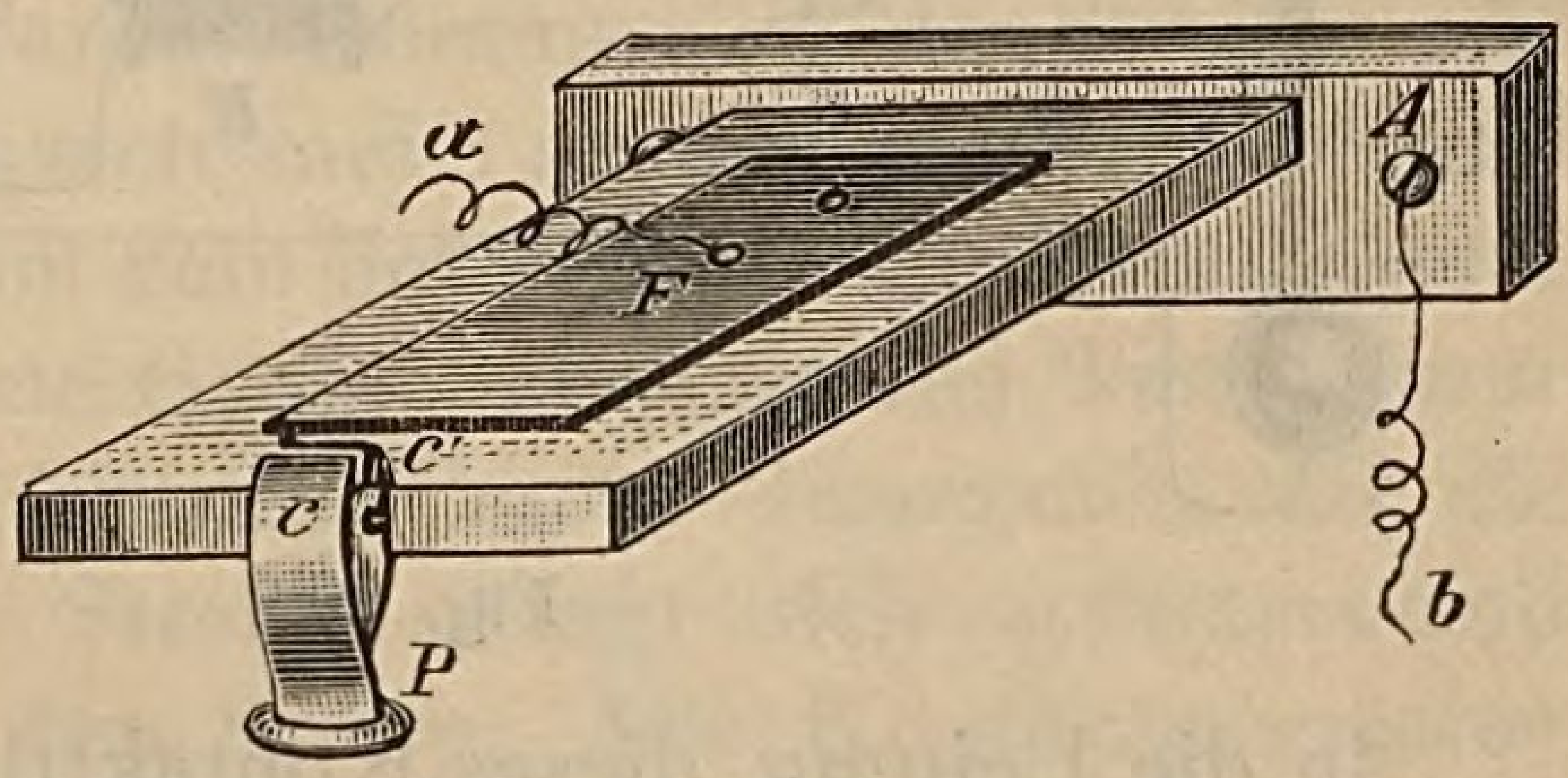


Fig. 189.

Die ganze Vorrichtung ist so an den oberen Thürrahmen geschraubt, dass die Thür sowohl beim Auf- als Zugehen das Pendel P in Bewegung setzen muss. Im ersteren Fall legt sich die äussere Schneide c des Pendels an die auf dem Metallrahmen A iso-

liert befestigte, federnde Platte F, wodurch die Verbindung zwischen den Zuleitungsdrähten a und b hergestellt wird. Dasselbe geschieht, wenn beim Schliessen der Thüre das Pendel nach innen bewegt wird und die innere Schneide c' desselben die federnde Platte berührt.

Selbstthätige Temperatur-Anzeiger.

a. Schmilzt man in ein Quecksilberthermometer zwei sehr feine Platindrähte, den einen in die Kugel, den andern in die Röhre ein, so wird die Glocke einer in den Stromkreis eingeschalteten Klingel ertönen, sobald das Quecksilber sich bis zum oberen Platindraht ausgedehnt hat.

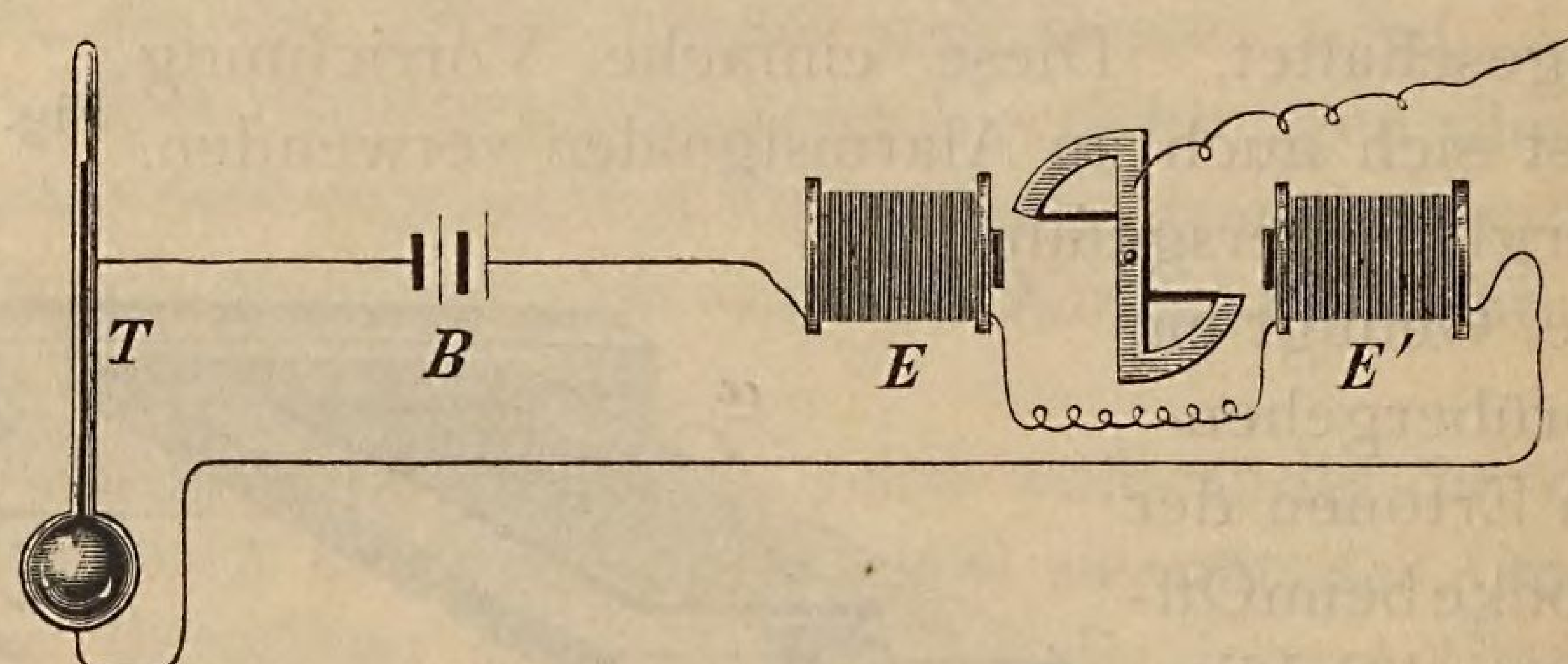


Fig. 190.

In die Leitung dieses Kontaktthermometers lässt sich noch folgende Einrichtung einschalten (Fig. 190), die sichtbare Zeichen giebt. Zwischen die beiden Elektromagneten E und E' ist ein Eisenanker mit passend gebogenen Platten auf einer wagrechten Achse beweglich. Sobald das Quecksilber zum oberen Platindraht des Thermometers steigt und der Strom durch die Drahtwindungen der Elektromagnete fliesst,

macht der Anker eine Drehung um 90^0 und erscheint in horizontaler Richtung. Eine elektrische Alarmklingel lässt sich mittels der Drehung des Ankers und eines besonderen Elementes einschalten.

b. Diese sonst sicher wirkenden Kontaktthermometer haben den Nachteil, dass sie sich nicht auf verschiedene Temperaturgrade einstellen lassen. Man hat darum Versuche mit Metallthermometern gemacht; diese sind verstellbar, ändern aber ihre Angaben mit der Zeit (Fig. 191). Der Strom fliesst von der Polklemme A durch einen Metallstreifen, der aus einer dickeren Zink- und einer dünneren Stahllamelle zusammengesetzt ist (genietet, verlötet, durch feinen Draht spiralförmig umwunden); bei steigender Wärme krümmt sich der Streifen abwärts, weil Zink sich mehr ausdehnt als Stahl und schliesst den Strom zum unteren Metallvorsprung der anderen Polklemme B; bei abnehmender Temperatur zieht sich die Zinklamelle mehr zusammen als die Stahllamelle, der Streifen biegt sich aufwärts und schliesst wieder den Strom. Die Kontakte müssen durch Platin hergestellt sein. Isoliert man die Metallvorsprünge der Säule B von einander, so wird man zwei Klingeln einschalten; man hat dann ein Maximum- und Minimumthermometer, wie die Figur andeutet.

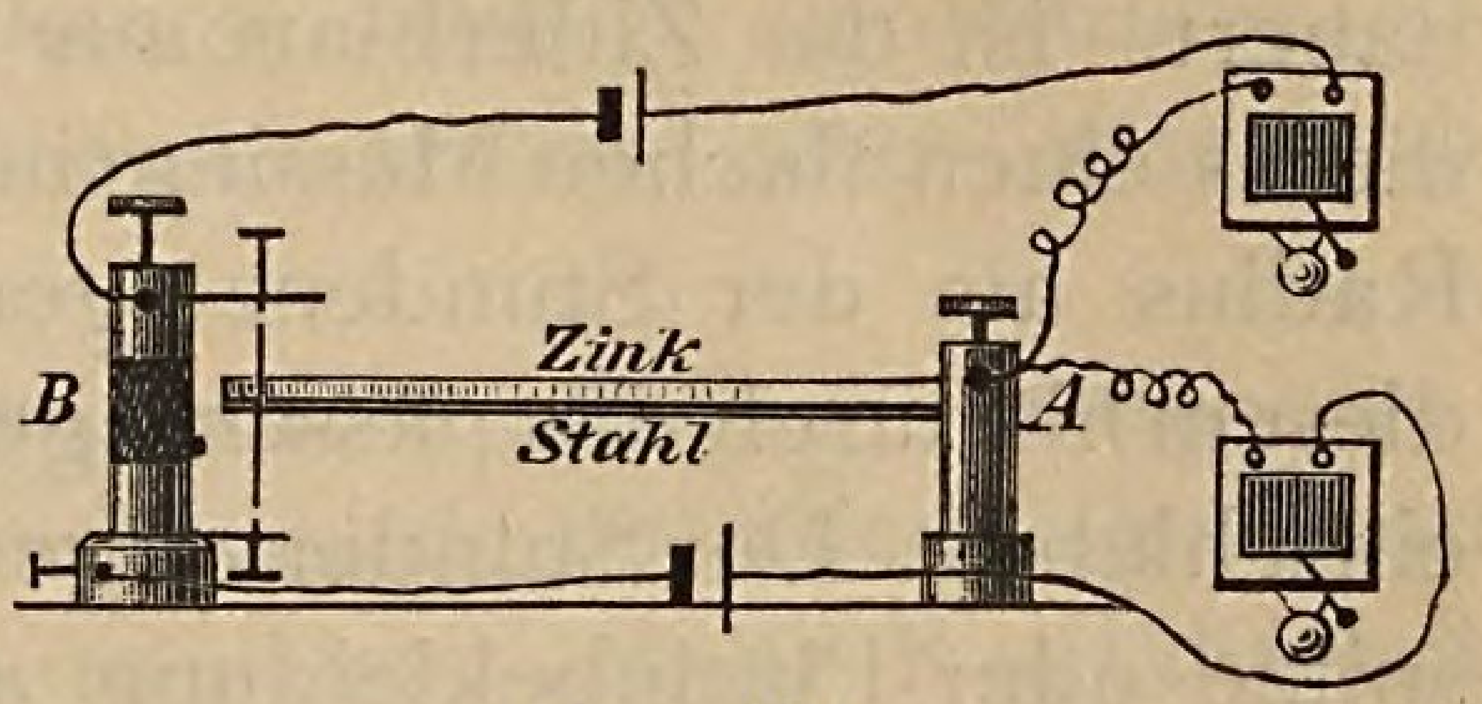


Fig. 191.

Bei vollkommeneren Apparaten versieht man die Metallvorsprünge mit Schrauben, wodurch dann auf verschiedene Temperaturen eingestellt werden kann.

Selbstthätige Uhrzeichen.

a. Verbindet man den einen Pol zweier Braunstein-Elemente mit dem Räderwerke einer Uhr und den andern Pol mit einem dünnen schmalen Platinplättchen, das man so stellt, dass der Stundenzeiger es zu einer bestimmten Zeit berührt, so wird eine in den Stromkreis eingeschaltete Alarmklingel so lange ertönen, als die Berührung zwischen Zeiger und Platinplättchen andauert. Ist das Zifferblatt aus Holz, so kann man auf dieses einen flachen Messingring von etwas grösserem Radius als der Stundenzeiger schrauben und unter diesem hindurch das passend gebogene Platinplättchen einschieben. Der Stundenzeiger sollte aber eine Platinspitze oder Platinbekleidung an der Spitze erhalten.

b. Sind in einer Uhr mit Schlagwerk Hammer und Feder (Glocke) von einander elektrisch isoliert, so kann man zwischen beide eine Einschlagglocke einschalten; man hat dann in einem entfernten Raume ein einfaches Uhrschlagwerk.

Sind Hammer und Glocke nicht von einander isoliert, so bringe man zwischen beiden und von ihnen isoliert einen sehr dünnen Platinstreifen an; er wird beim Niedergang des Hammers auf die Glocke niedergelegt und die zwischen Hammer und Platinstreifen eingeschaltete Einschlagklingel wird wieder zum Schlagwerk.

c. Anstatt den einen Pol mit dem Uhrwerk zu verbinden, kann man (Fig. 191a) am Rand der kreisförmigen Zifferscheibe die Messingbacken A und B mittels der Schraube S einklemmen. In den Backen A ist ein Ebonitplättchen E eingelassen und von rückwärts aufgeschraubt. Die zwei Polklemmen s

und s_1 sind in das Ebonitplättchen eingeschraubt und an sie die dünnen, elastischen Platinstreifen P und P_1 angelötet; P ist etwas länger als P_1. Wenn nun der Stundenzeiger P berührt, drückt er es an P_1 und der Strom, der den beiden Schrauben s und s_1 zugeführt wird, ist geschlossen. Das in den Stromkreis eingeschaltete Läutwerk ertönt also innerhalb 24 Stunden zweimal.

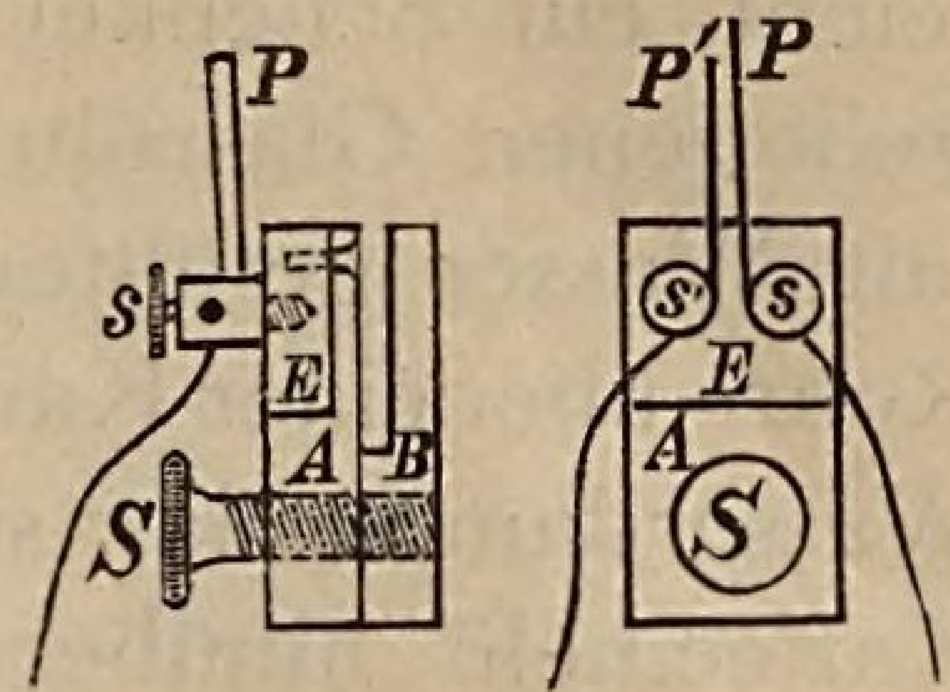
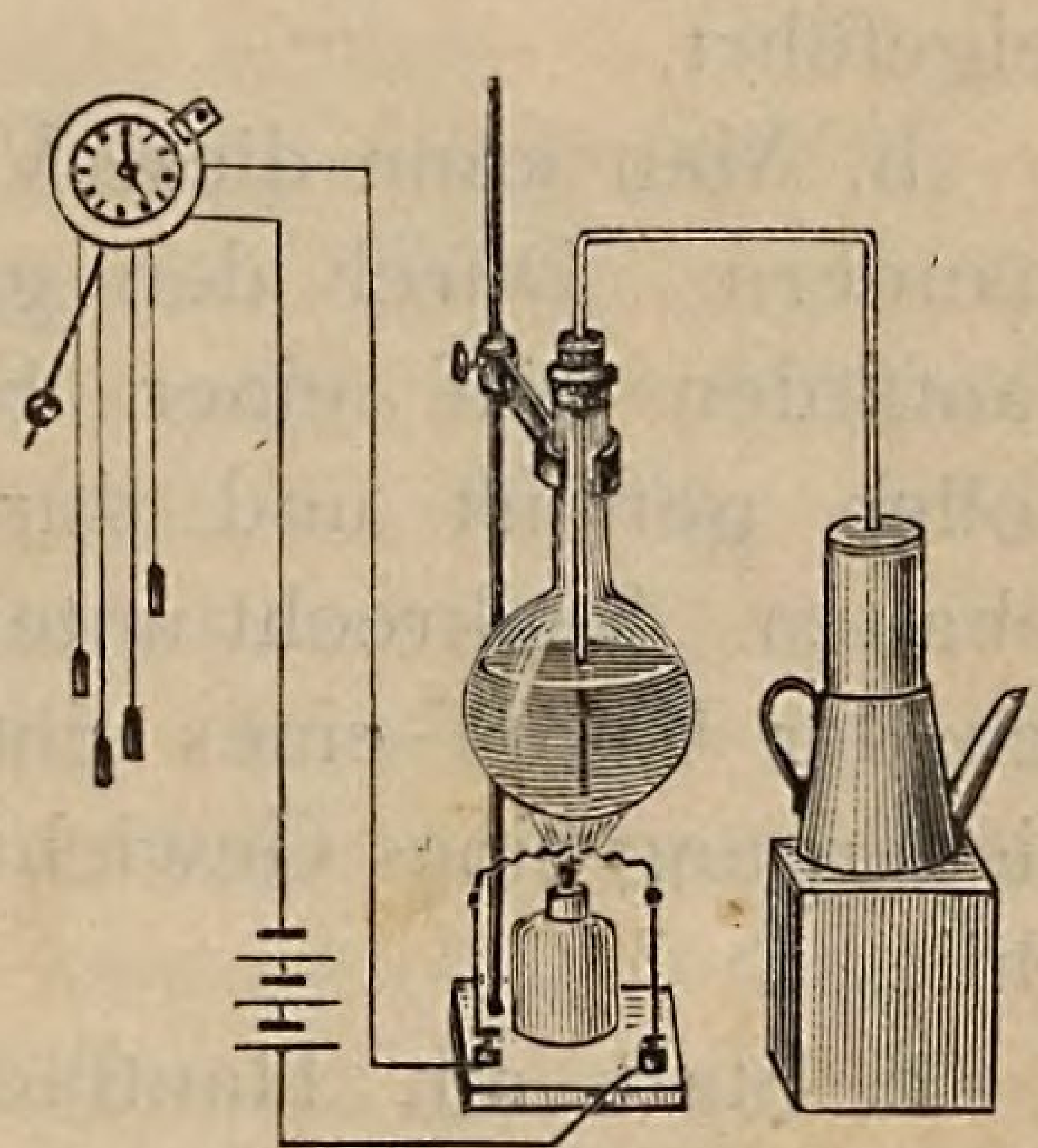


Fig. 191a.

Pastor Brunk (Arnshagen) befestigt einen breiteren Kontakt für den kürzeren Stundenzeiger und für den längeren Minutenzeiger einen Kontakt mit zwei Zinken, die 5 Minutenteile auseinanderstehen, so dass durch jene der Strom zweimal hintereinander nach 5 Minuten geschlossen wird und die Glocke zweimal ertönt; er kann damit auf die halbe Minute einstellen.

d. Ausser einem Läutwerk kann man in den Stromkreis zur Uhr noch einen Anzünder (V) einschalten und diesen so verwenden (Fig. 191b). Die Platinspirale wird mit dem Docht einer Weingeistlampe in Berührung gebracht. Ueber der Lampe steht ein Glaskolben auf einem kleinen Drahtnetze. Durch den verkorkten langen Hals


Fig. 191b.

reicht ein Schenkel einer zweimal rechtwinklig abgebogenen Glasröhre bis nahezu auf den Boden des mit Wasser gefüllten Ballons. Anderseits endigt die Röhre über einer Kanne, in welche der eingeschlossene Wasserdampf das siedende Wasser in eine Portion Kaffeemehl hinüberdrückt. Wenn dann nach etwa 15 Minuten die Uhr auch das Läutwerk einschaltet, hat der Schläfer seinen Frühtrunk beim Aufstehen bereit. Weitere ähnliche Verwendungen solcher automatischen Stromschlüsse überlassen wir dem Scharfsinn des Lesers.

Selbstthätige Feuermelder.

a. Man soll an feuergefährlichen Stellen Metallgewichte mittels Fäden aus leicht verbrennbarem Stoffe aufhängen. Wenn diese Gewichte nach erfolgter Zerstörung ihrer Träger auf zweckmässig unter jenen angebrachte Metallplatten niederfallen, so wird, wenn beide mit Batterie-Zuleitungsdrähten verbunden sind, hierdurch der beabsichtigte Stromschluss herbeigeführt.

b. Man kann diese Vorrichtung folgendermassen abändern. Durch den ganzen Bühnenraum werden Hanffäden auf einer Seite gut befestigt, über Rollen geführt und durch Gewichte in Spannung gehalten. Senkrecht unter diesen Gewichten befindet sich der Knopf eines einfachen Drückers, der beim Niedergang eines Gewichtes eine elektrische Batterie schliesst.

c. Statt mit Hanffäden würde man denselben Zweck mit dünnen, isolierten Kupferdrähten erreichen, welche, in Form von Schleifen zu einem durchge-

henden Leiter verbunden, im unverletzten Zustande einen Stromkreis mit eingeschalteter Alarmklingel schliessen. Letztere, welche für Ruhestrom eingerichtet sein müsste, würde in Thätigkeit gesetzt werden, sobald durch Verbrennen der so hergestellten Leitung an irgend einem Punkte derselben eine Unterbrechung erlitte.

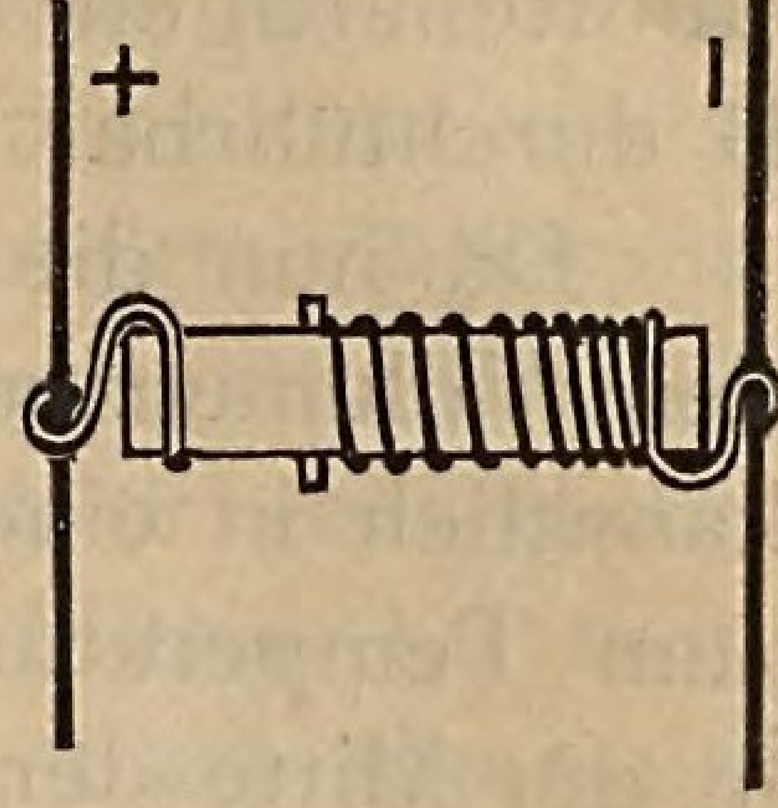


Fig. 191 c.

d. Ein Cylinder aus Hartgummi, Porzellan, gefirnisstem Holz (Fig. 191 c) wird zwischen die Leitungsdrähte einer Braunstein-Batterie eingehakt. Durch den Cylinder geht quer ein Stäbchen aus leicht schmelzbarem Metall; eine starke, an den einen Haken befestigte Feder drückt gegen dieses Stäbchen. Sobald nun die Wärme in einem Raume, in dem diese Vorrichtung angebracht ist, sich so steigert, dass das Stäbchen abschmilzt, schnellt die Feder gegen den oberen Haken, stellt die Verbindung zwischen beiden Leitungen her und die Glocke ertönt.

e. Unter dem Namen automatischer Feuermelder wird von den Stettiner Elektricitäts-Werken ein bei abnormer Temperatur selbstthätig wirkender Kontaktgeber (D. R. G. M. No. 12 872) in den Handel gebracht, dessen konstruktiver Aufbau in Fig. 191 d gegeben ist. Es bezeichnet A eine cylindrische Metallkapsel, welche Luft hermetisch einschliesst. Boden- und Seitenwandung sind aus dickerem Blech gefertigt, während der Deckel von einer äusserst dünnen, elastischen Metallmembrane B gebildet wird. Es ist somit der eingeschlossenen

Luft, die mit steigender Temperatur in bestimmt von dieser abhängigen Weise sich ausdehnen wird, zwar die Möglichkeit gegeben, ihre Volumenvergrösserung zu bewerkstelligen, ihr jedoch solches nur nach einer kalottenartigen Durchbiegung der Metallmembrane B durchführbar. (Kalotte = Kugelabschnitt.)

Da nun die Höhe dieser Durchbiegung sich nach dem Volumenzusatz der Luft richtet, dieser aber bekanntlich in einem bestimmt festgestellten Verhältnis zum Temperaturanstieg steht, so wird demnach ein in der Mitte der Membrane B als an der vom Drucke am meisten beeinflussten Stelle angelötetes Platinplättchen genau dem Temperaturanstieg entsprechend gehoben und einer Kontaktfläche genähert werden, die demselben gegenüber angebracht ist. Diese zweite Kontaktfläche wird von dem in einem Platinstift endenden Fuss einer Schraube D gebildet, welche durch einen isoliert an der Kapsel befestigten Bügel C drehbar durchgelassen ist. Es ist durch eine derartige Anordnung ermöglicht, mittels dieser Schraube D den Abstand zwischen den Platinkontakten so einzuregulieren, dass die einer bestimmten Temperatur (35⁰ C) entsprechende kalottenartige Durchbiegung

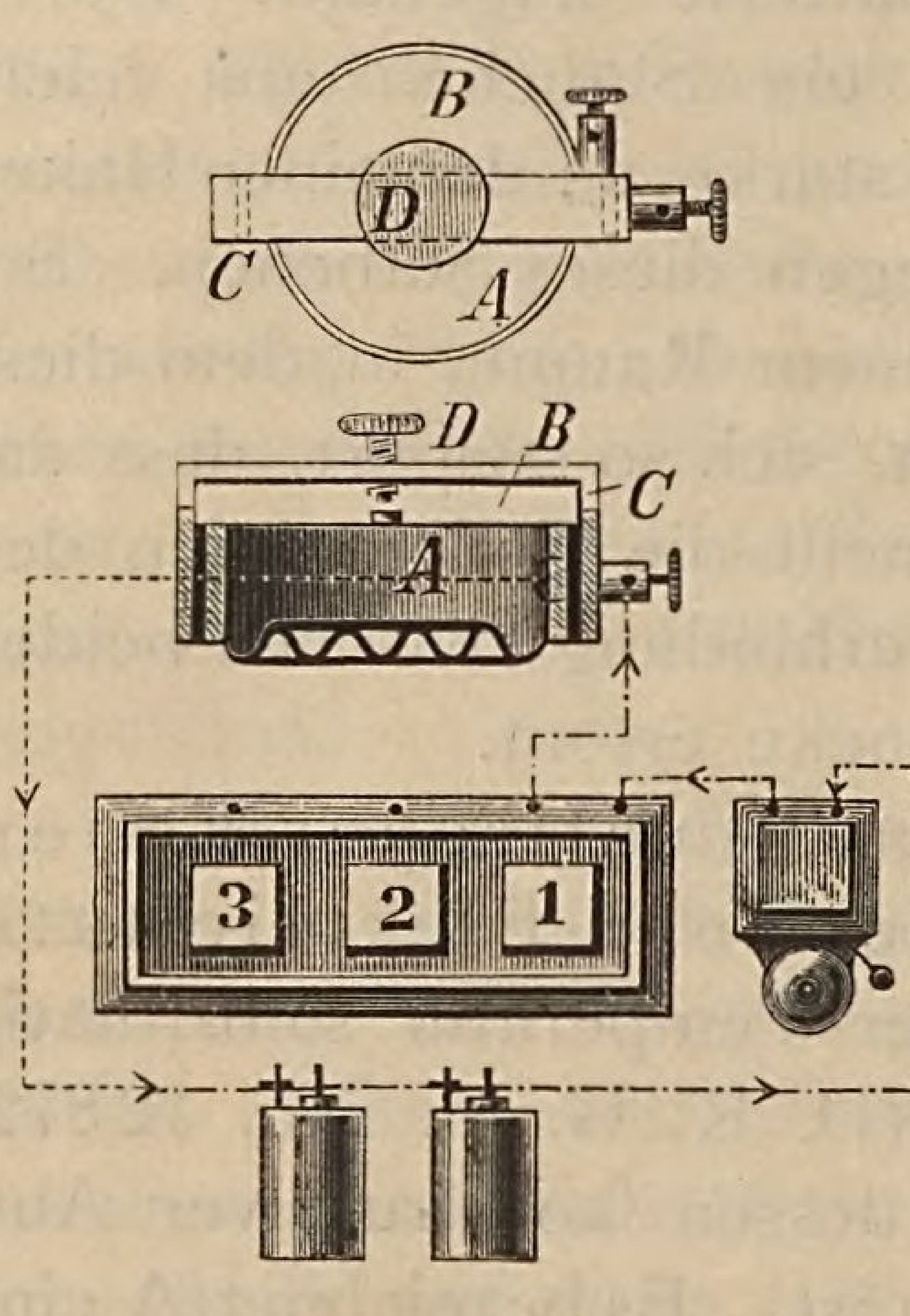


Fig. 191d.

der Membrane B genau zur Herstellung eines sicheren, den Stromkreis schliessenden Kontaktes ausreicht, nach dessen Zustandekommen die vom Strom durchflossenen elektrischen Alarmapparate veranlasst werden, durch akustische und optische Signale auf die im Entstehen begriffene Feuersgefahr hinzuweisen. Die durch Versuche festgestellte Kontaktannäherung (Membranausbauchung) betrug bei dem in den Handel gebrachten „automatischen Feuermelder“ bei einem Temperaturanstieg von 25^0 C. im Mittel 1,6 mm. Dies lässt es erklärlich erscheinen, dass einerseits die kompendiöse Gestaltung des automatischen Feuermelders als hinreichend erachtet werden durfte, dass andererseits von jeder Hebel- und Räderübersetzung Abstand genommen werden konnte, wodurch zwar die Kontaktannäherung vergrössert, die Zuverlässigkeit dagegen (Achsenverschiebung, toter Gang) in Frage gestellt, jedenfalls aber Gewicht, Volumen, und auch Preis bedeutend erhöht worden wäre. Das Gewicht des Apparates beträgt 50 g. Preis 5 Mk.

Klingeln mit Ruhestrom.

Bei diesen wird der Elektromagnet fortwährend vom Strome durchflossen; der Kontakt dient also nicht dazu, den Strom zu schliessen, sondern hat im Gegenteil die Aufgabe, denselben zu unterbrechen. Der Anker wird von seinem Elektromagneten beständig angezogen, bis der Kontakt aufgehoben wird. Für diese Art Klingeln werden gewöhnlich Meidinger-Elemente benutzt. (Fig. 192.)

Die Ruhestrom-Klingeln lassen sich vorzugsweise für Sicherheitsanlagen verwenden; sie unterscheiden

sich von anderen Alarmklingeln nur in der Anordnung der äusseren Verbindungen. Sind die Leitungen a und b im Zustande der Ruhe verbunden (z. B. durch Erdleitung), so halten die unter der Einwirkung der Batterie magnetisierten Elektromagnetkerne den Anker angezogen.

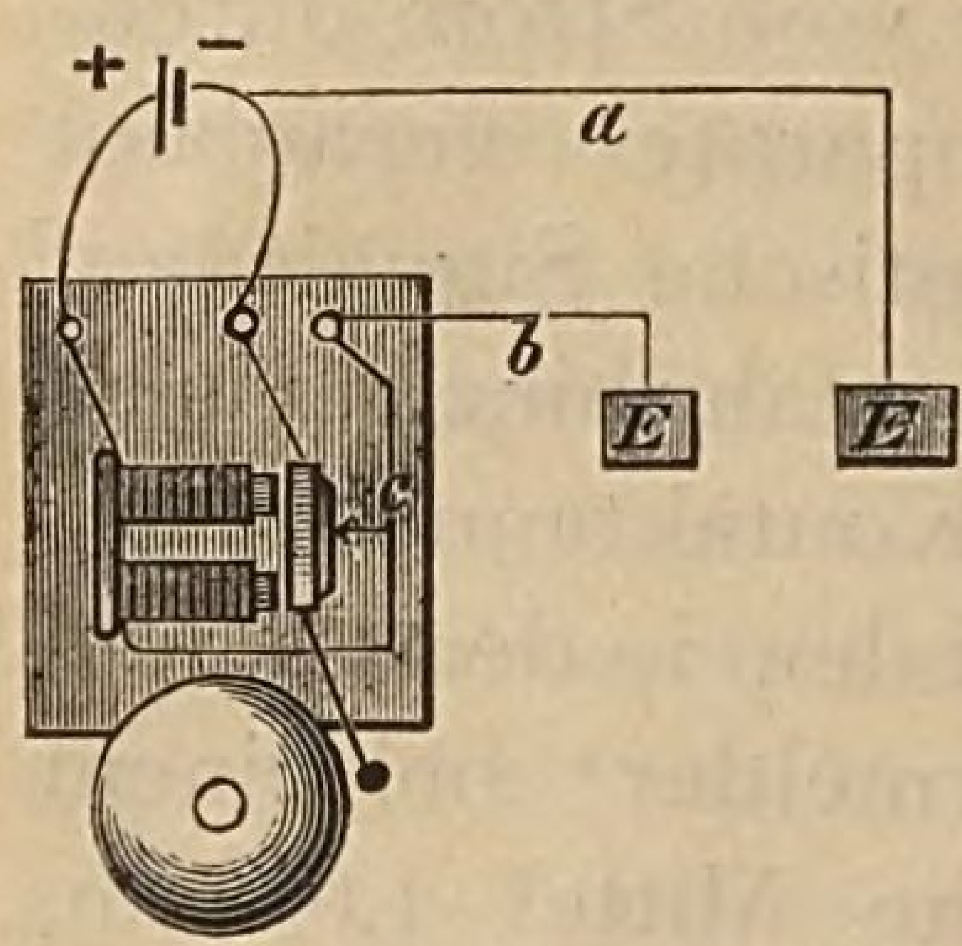


Fig. 192.

Legt sich nach Aufhebung dieser Verbindung der Anker gegen den Kontakt c, so tritt der Strom über den Anker zu c und gelangt von hier durch die Elektromagnetwindungen zur Batterie zurück; der Anker wird angezogen, legt sich aber, da gleichzeitig Stromunterbrechung eintritt, wieder gegen c und schliesst die Batterie von neuem. In dieser Weise wirkt die Selbstunterbrechung, bis die

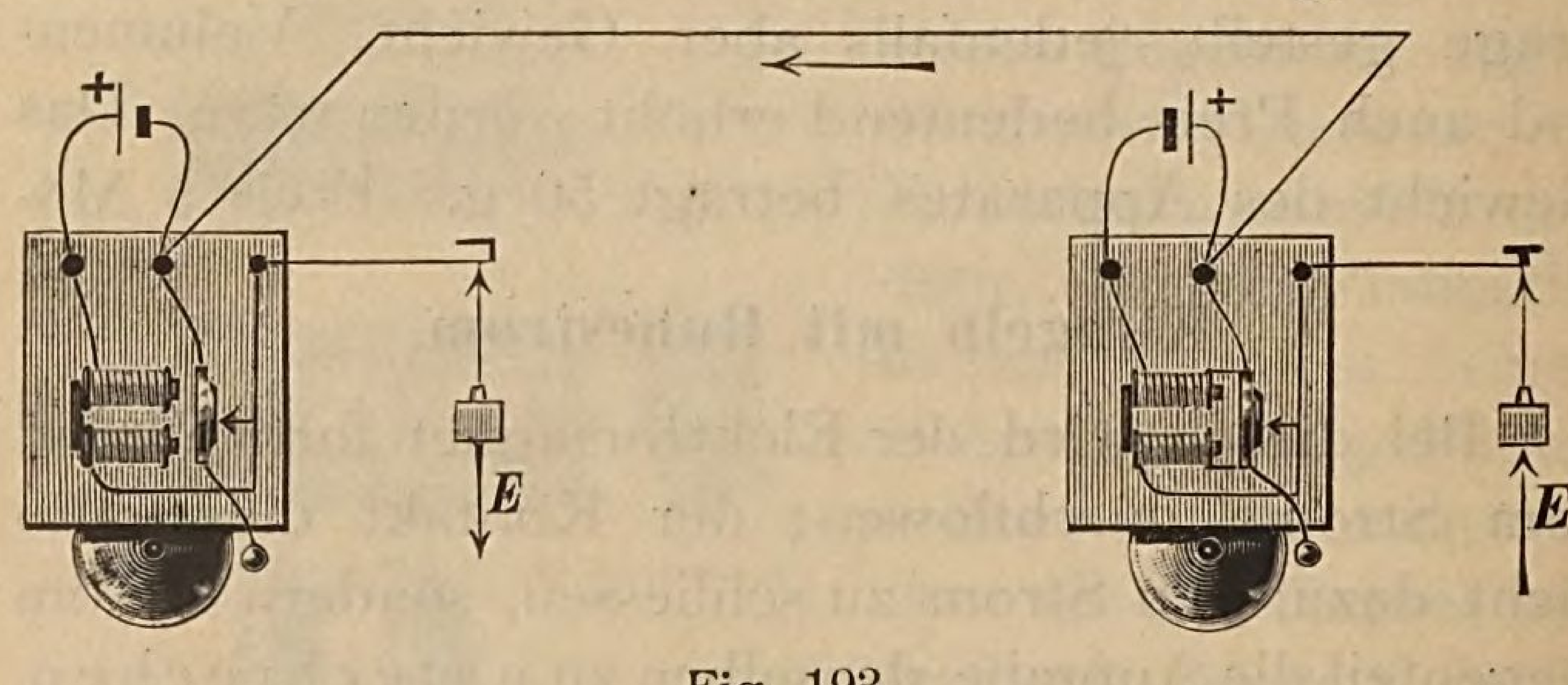


Fig. 193.

Wiederholung der Verbindung zwischen a und b eine dauernde Ankeranziehung bewirkt.

Die Figur 193 stellt die Verbindung zwischen zwei Stationen dar; durch Niederdrücken der Schlüssel kann man Zeichen von einer Station zur andern senden.

Die Leitungsanlagen. Allgemeines.

a. Die Leiter dürfen im allgemeinen, infolge der geringen Stärke (Intensität) der angewendeten Ströme, ziemlich dünn sein; 0,8 bis 1 mm Durchmesser genügen gewöhnlich. Man zieht sie aus mit den nötigen Vorsichtsmaassregeln zur Sicherung der Isolation. Auch blanke Drähte sind unter Umständen zulässig. Einen der Leiter wird man bisweilen durch die Wasser- und Gasleitungsröhren ersetzen; muss aber die Zuleitungen zu denselben wohl anlöten. Den Draht mit dem positiven Strom halte man stets oben.

b. Die Elemente können schwach sein, müssen aber lange andauern, sich wenig abnützen und bei offenem Stromkreis kein oder sehr wenig Material verzehren. Ausser Braunstein-Elementen eignen sich für diese Zwecke auch Ätzkali-Elemente und die Modifikationen des Daniell-Elementes.

c. Ein Rechnungsbeispiel. Um eine Glocke von 65 mm Durchmesser zum Klingen zu bringen, ist nach Erfahrung ein Strom von 0,5 Amp. erforderlich. Ein mittelgrosses Braunstein-Element hat eine elektromotorische Kraft von 1,6 Volt bei einem inneren Widerstand von 1,2 Ohm. 1 kg Kupferdraht von 0,9 mm Durchmesser leistet einen Widerstand von 4,43 Ohm. Brauchen wir 48 m dieses Drahtes, so schalten wir damit einen Widerstand von 1,2 Ohm ein. Wir haben nun einen inneren und äusseren Widerstand von je 1,2 Ohm; zusammen 2,4 Ohm. Nach Ohm's Gesetz ist

$$J = \frac{E}{R};\ J = \frac{1,6}{2,4} = 0,66$$

ungefähr $\frac{2}{3}$ Amp.; gerade etwas mehr als nötig ist, um die Glocke zum Läuten zu bringen.

Nehmen wir einen Leitungsdraht von 1 mm Durchmesser, so hat das kg 143 m Länge und 2,91 Ohm Widerstand; somit kommen auf 48 m 0,97 Ohm;

$$J = \frac{1,6}{1,1 + 0,97} = \frac{1,6}{2,07} = 0,77 \text{ Amp.}$$

d. In der Praxis ist es wichtig, Hin- und Rückleitungsdrähte von verschiedenfarbiger Umhüllung zu wählen. Man wird sich dadurch, besonders bei einem grösseren Netze, viel Ärger und Wirrnis ersparen.

Die Stifte werden $1\frac{1}{2}$ bis 2 m von einander eingeschlagen. Die Leitung muss straff, in der Flucht und an den Ecken genau im Winkel gezogen werden. Bisweilen werden Deckstreifen aus Pappe auf beiden Seiten der Leitung angenagelt, oder verwendet man Nutenleisten aus Tannenholz wie bei Lichtanlagen. (Fig. 193a.)

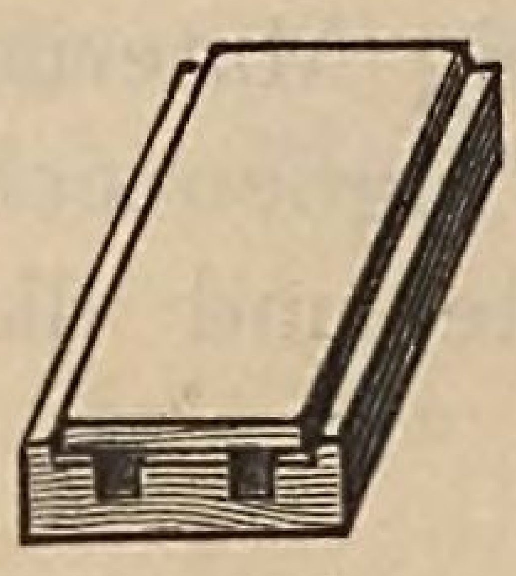


Fig. 193a.

Guttapercha ist ein vortreffliches Isoliermittel; aber in sehr trockenen Räumen wird sie brüchig und es ist dann Kautschuküberzug vorzuziehen.

Frische Gipsdecken zerfressen nicht selten das Leitungsmaterial.

Bisweilen verwendet man verzinnten Eisendraht; dies hat die Vorzüge, dass der Draht sich weniger verstreckt als Kupferdraht und leicht zu löten ist; aber den Nachteil, dass der Widerstand erhöht wird.

Siliciumdraht vereinigt gute Leitungsfähigkeit und Zähigkeit gegen Streckung.

e. Drähte werden verlötet, indem man ihre Enden auf etwa 2 cm über einander schlingt und mit Weichlot (Kap. XVI) und Harz zusammenschmilzt; die Lötstelle wird wieder mit Garn umwickelt und gefirnisst.

Die wohlgereinigten Würgstellen kann man auch bloss mit Guttaperchapapier überdecken. Siehe Kostenanschläge. Bei der Wickelstelle biegt man die Enden der zu verbindenden Drähte kurz um, legt die Drähte 4 bis 5 cm nebeneinander, klemmt sie zwischen Feilkloben, umbindet dicht mit Bindedraht, wickelt noch über die Haken hinaus und lötet so, dass das Lot eindringt, aber nur mit Kolophonium oder Stearinöl; bei Lötwasser muss man gut abwaschen.

Löten mit Silberlot hat den Vorzug, dass das Lot ebenso gut leitet als die Leitungsdrähte selbst und dass bei guter Ausführung die Festigkeit der Lötstelle derjenigen der Drähte nicht nachsteht.

Beim Anlöten des (positiven) Drahtes an die Wasserleitung fliesst oft das Lot um den Draht, aber nicht um die Wasserröhre; man gebrauche daher schwere Lötkolben. Anschluss an die Gasröhren ist nicht zu empfehlen, weil diese gewöhnlich durch isolierendes Material verbunden sind.

f. Bei nicht zu langen Leitungen ist Erdleitung zu vermeiden; sie ist nur gut, wenn feuchter Boden erreicht wird und Kupfer- oder verzinkte Eisenplatten von nicht unter $\frac{1}{2}$ m² einseitiger Fläche versenkt werden.

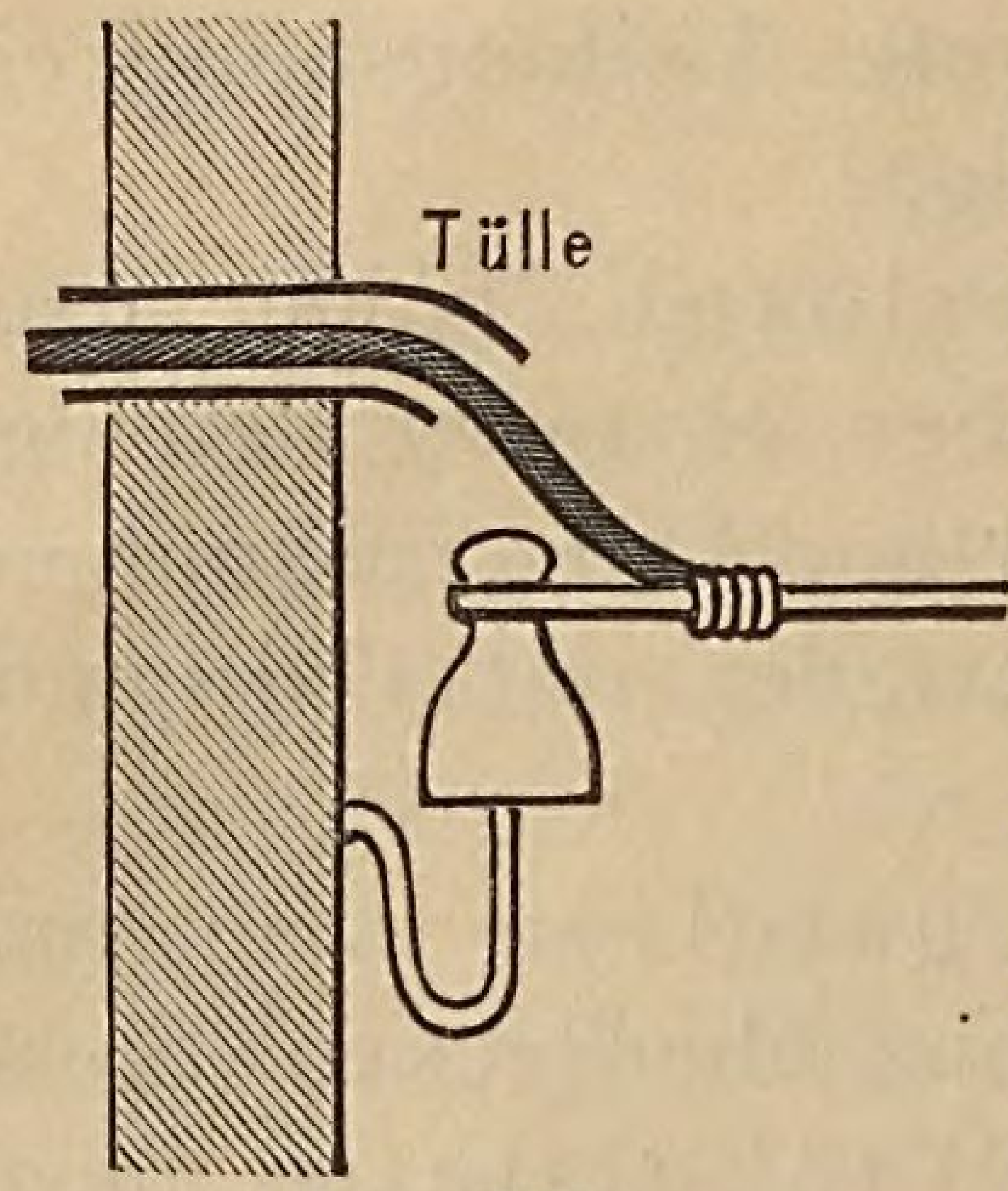


Fig. 193a.

g. Bei Durchführung der Drähte durch Wände gebraucht man Einführungstüllen von Porzellan oder Knochen (Fig. 193a). Im Freien führt man, wie bei der Telegraphie, die Drähte über Isolatoren, die man in die Mauern oder Mauerbalken einlässt. Der Siliciumbronzedraht wird 1 mm und der Eisendraht 2,5 mm dick gewählt.

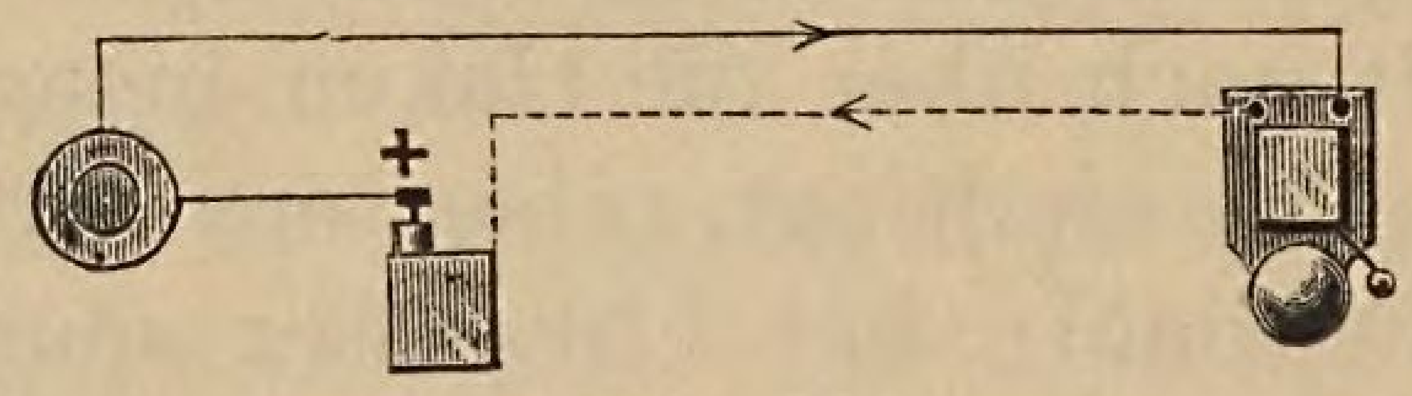


Fig. 194.

Schaltungs-Skizzen. (Vergl. Fig. 184 u. 185.)

a. (Fig. 194.) Eine einfache Klingel, ein Element und ein Druckknopf; wird der letztere niedergedrückt, so fliesst der positive Strom durch seinen Kontakt, durch die Linie zu den Magnetspulen und durch die Linie zurück.

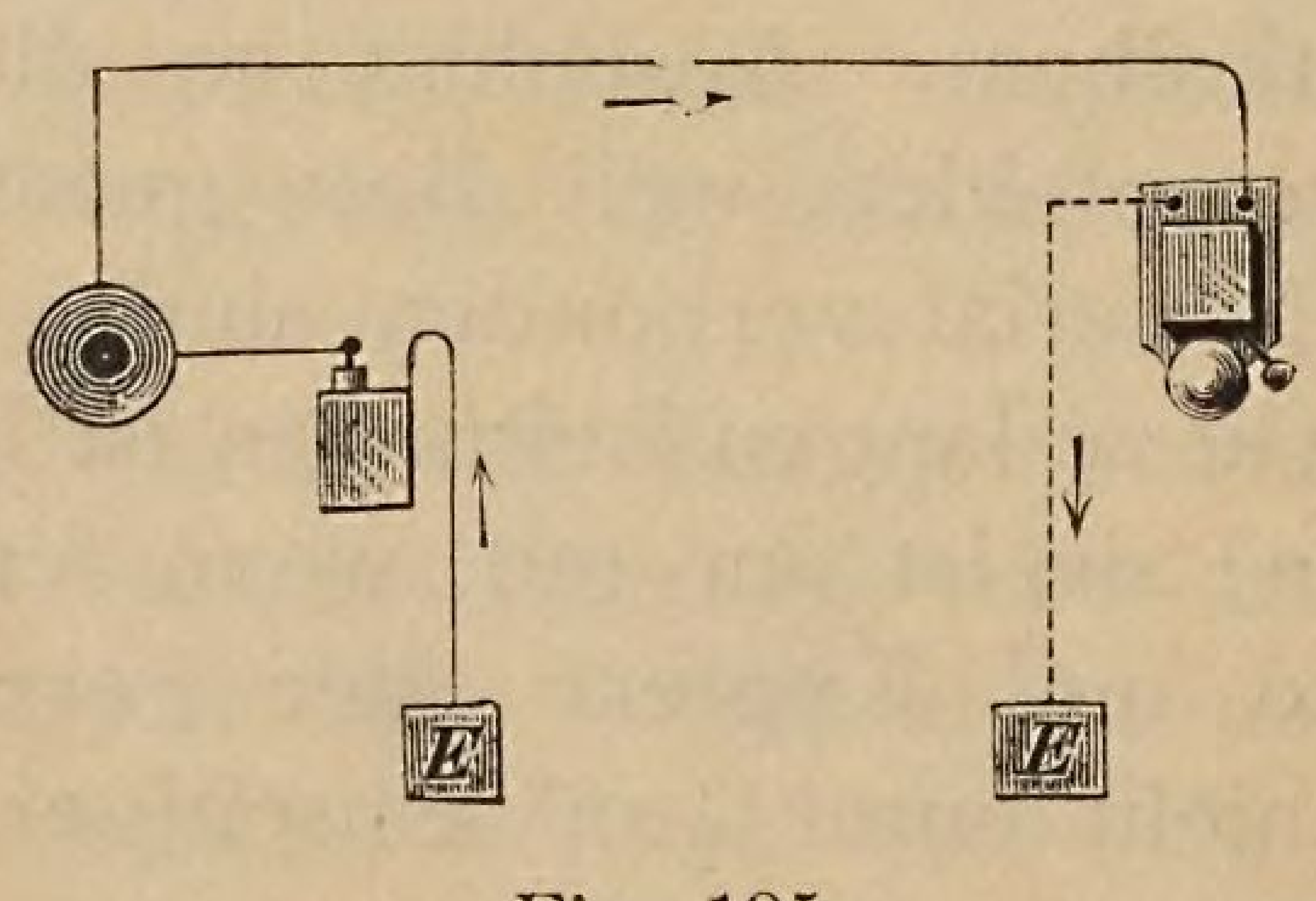


Fig. 195.

b. (Fig. 195.) Diese Anordnung unterscheidet sich von der vorigen nur durch die Einschaltung einer Erdleitung.

c. Die Fig. 196 illustriert die Einschaltung beliebig vieler Drücker in die Leitung.

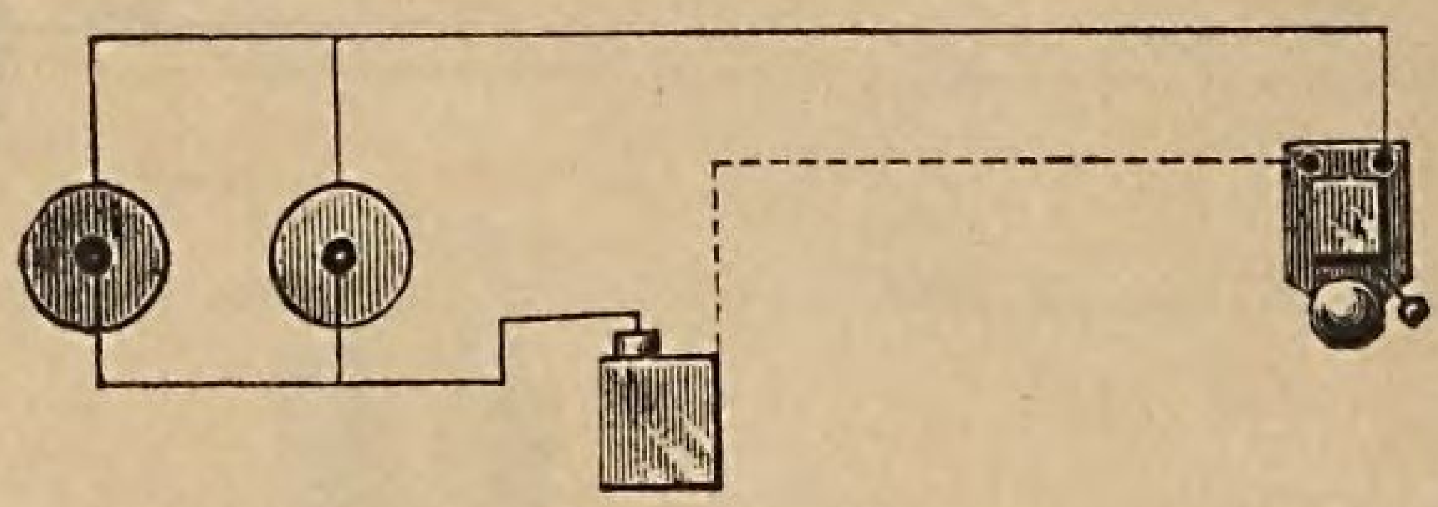


Fig. 196.

d. (Fig. 197.) Mit einem Druck fliesst der Strom durch beide Läutwerke; diese sind in Serien oder Reihen oder hintereinander geschaltet. Einschlagklingeln arbeiten befriedigend in Serien, noch besser die besonders beschriebene Serienklingel.

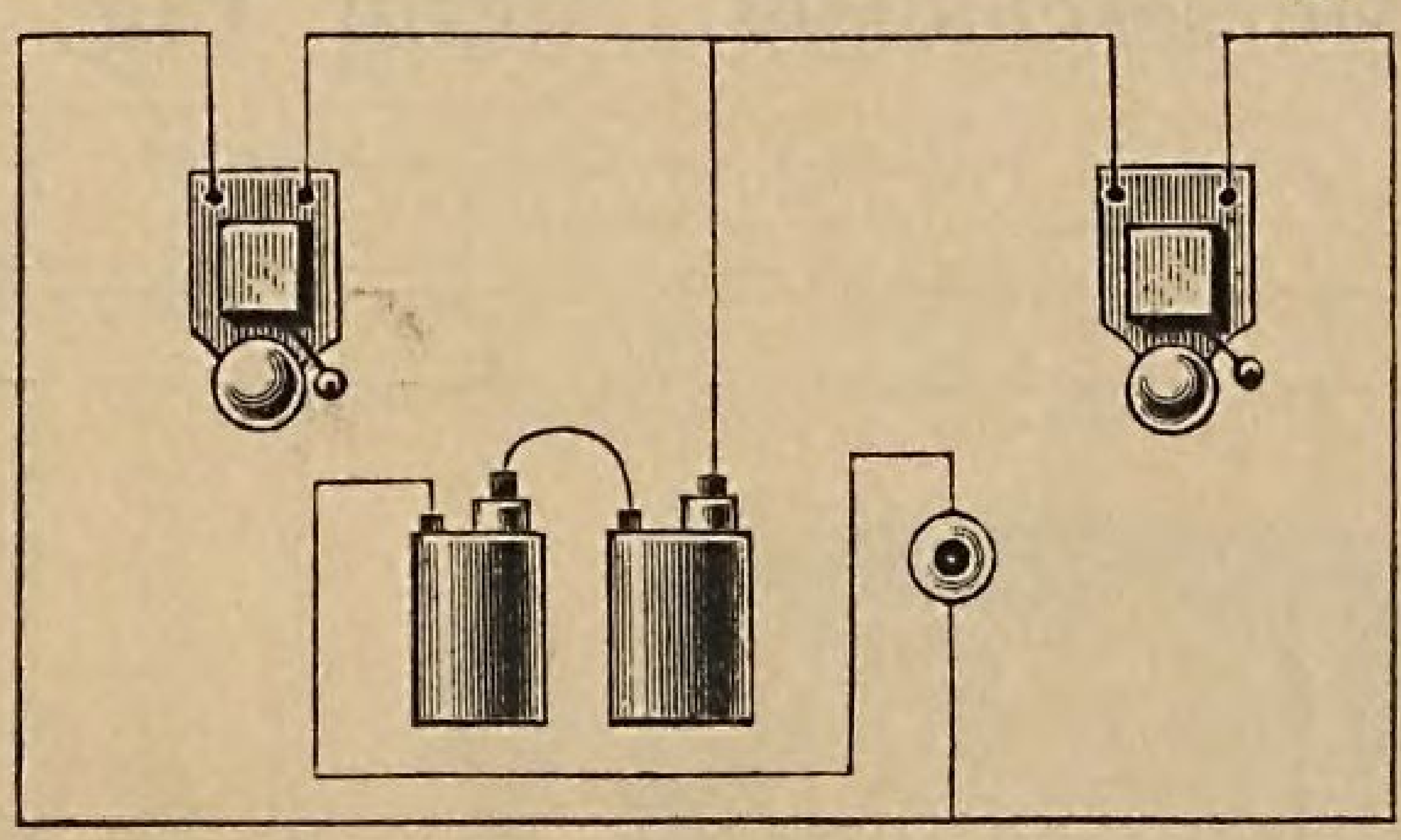


Fig. 197.

e. In dem Kästchen der Klingel denke man sich ein Relais. (Fig. 181.) Fliesst der Linienstrom durch den Drücker, so zieht er den Anker des Relais herbei und schaltet die Lokalbatterie in die Klingel, so oft er geschlossen wird.

f. (Fig. 198.) Es ist möglich, mit nur einer Batterie Zeichen nach beiden Stationen zu senden. Aber für diesen Fall sind 3 wohlisolierte Liniendrähte

und eine Erdrückleitung nötig. Drücken wir rechts, so fliesst der Strom durch den unteren Liniendraht, den Drücker, den oberen Liniendraht zur entfernten Klingel, zur Batterie und zur Erde.

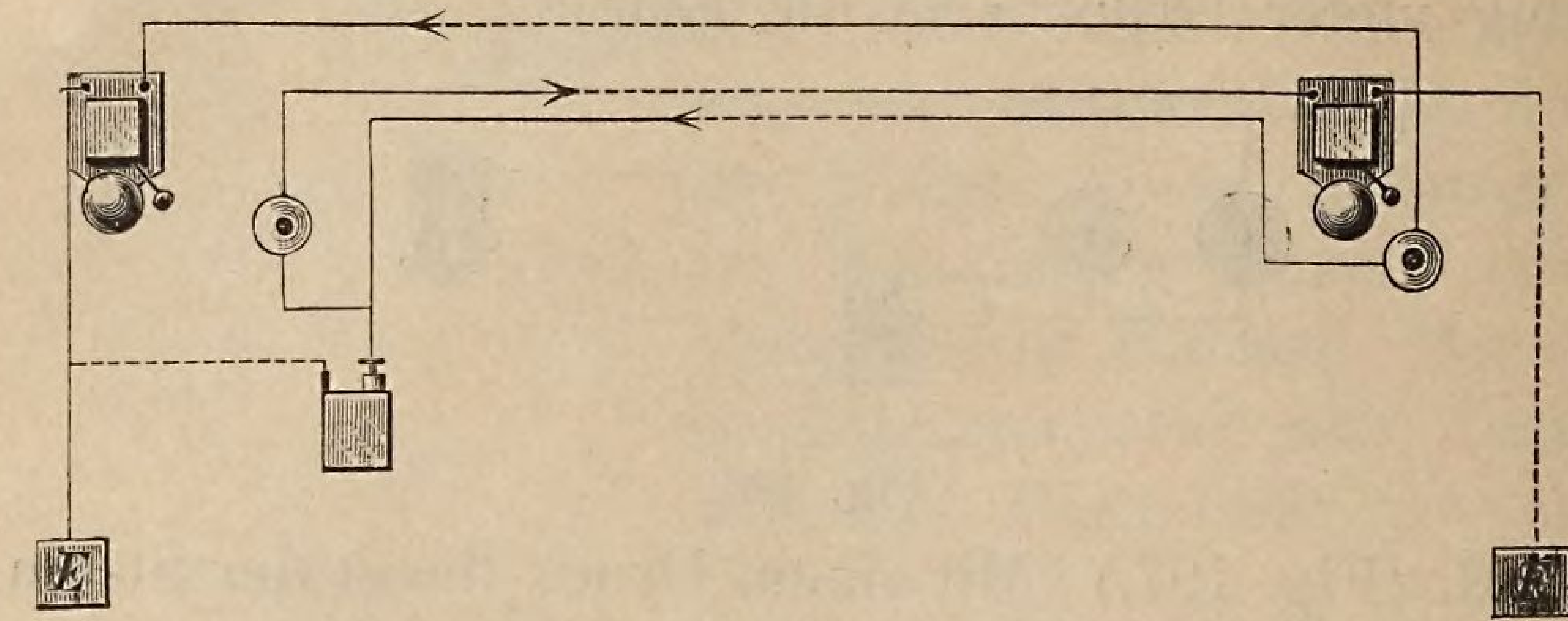


Fig. 198.

g. (Fig. 199.) Zeichengeben nach beiden Richtungen mit nur 2 Liniendrähten, einer Erdrückleitung und einem Morseschlüssel. Vergl. Fig. 184.

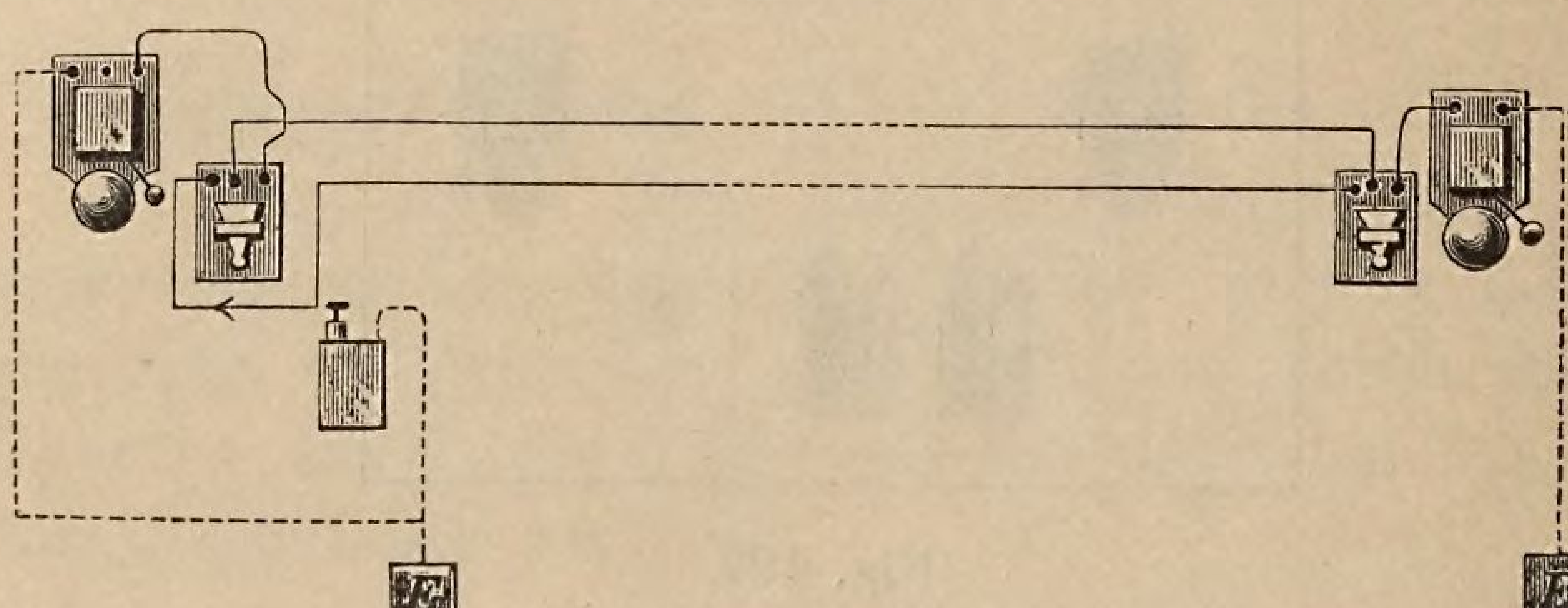


Fig. 199.

h. (Fig. 199a). Korrespondenzleitung mit einer Batterie und Nebeneinanderschaltung mehrerer Wecker. Wird auf D_1 gedrückt, so läuten W_3 u. W_4.

i. Eine vollständige Hausanlage mit Klingel (Fig. 200), Drückern, Klappen und Leitungen. Die gestrichelten Linien bezeichnen die von den Polen

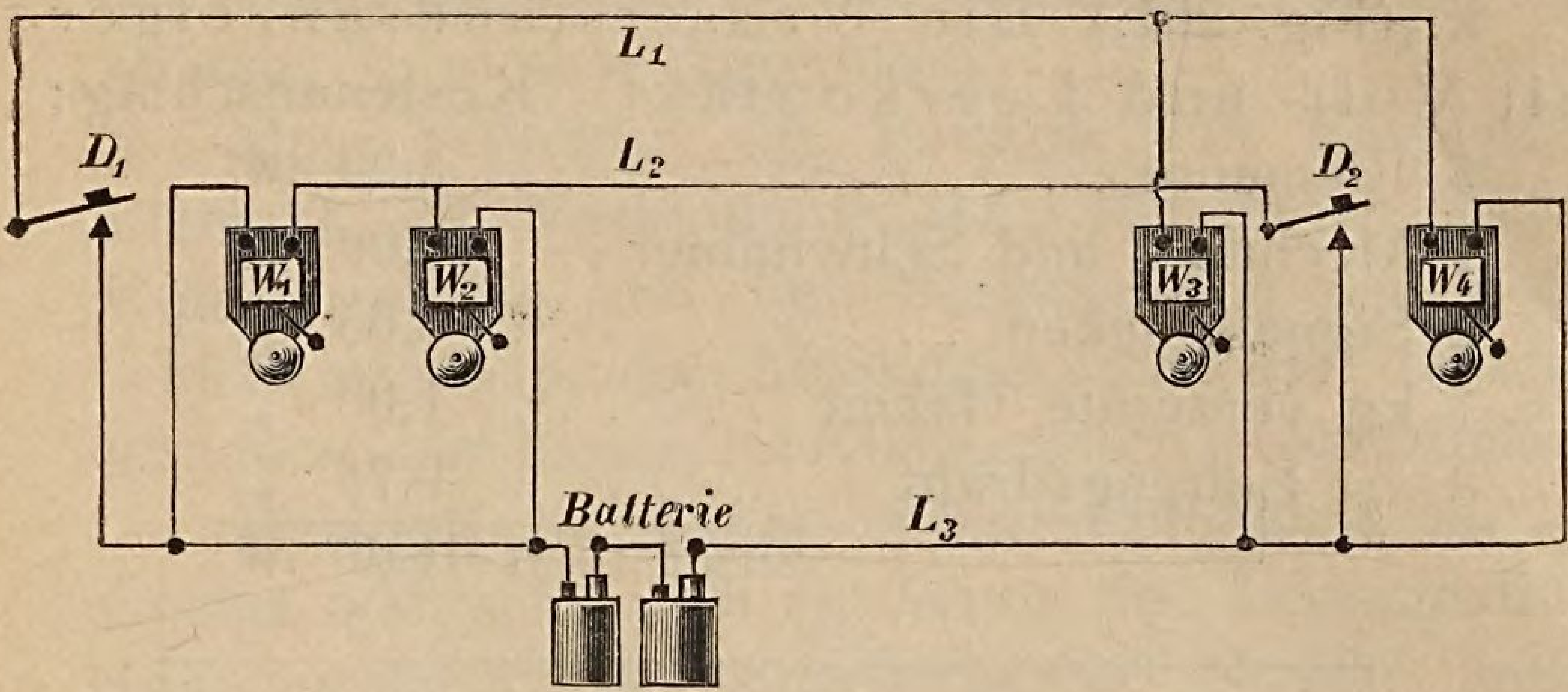


Fig. 199a.

der Batterie ausgehenden Leitungsdrähte, die vollen Linien die Drähte zwischen den Drückern, der Klingel und dem Klappenschrank. Die Pendelanzeiger sind wie gewöhnlich verbunden; meistens ist auch die Klingel in den Klappenschrank eingeschlossen. Kostenanschlag:

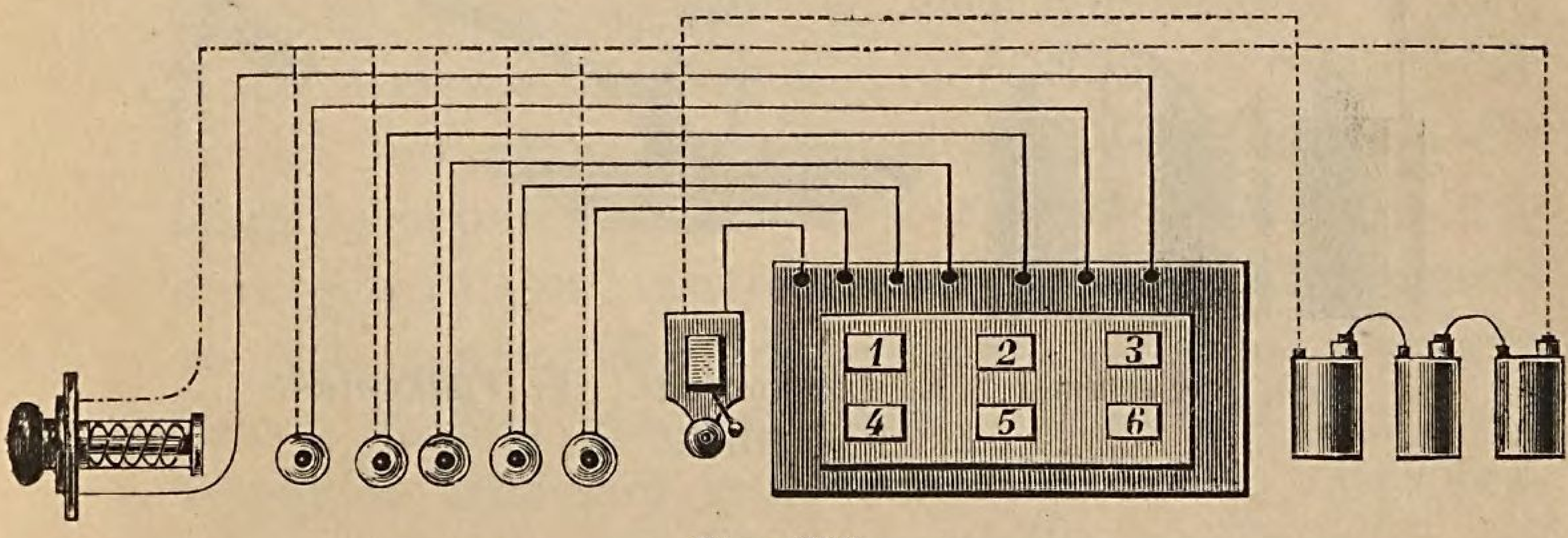
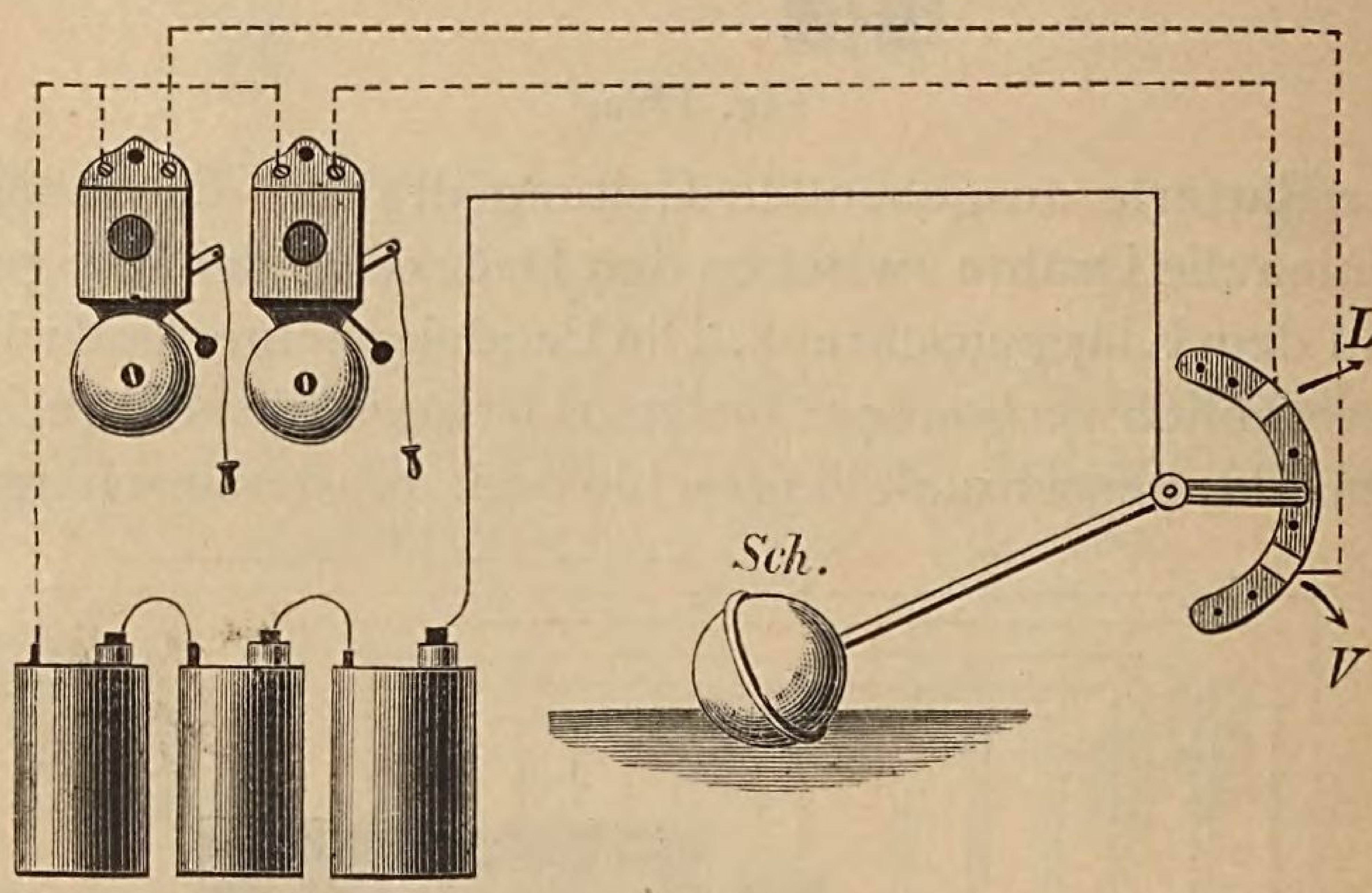


Fig. 200.

3 Elemente	5,70 ℳ
3 Druckknöpfe	0,60 „
1 Signalglocke	2,50 „
250 g verzinnte Stifte	0,25 „
1 Kilo Leitungsdraht (Wachsdr.)	2,40 „
Guttaperchapapier	0,20 „
1 Tableau mit 3 Klappen	10,25 „
zusammen	21,90 ℳ

k. (Fig. 201.) Ein Wasserstandsanzeiger mit Voll- und Leerkontakt. Kostenanschlag:

5 Elemente	5,20	*M*
1 Mechanik und Schwimmer	40,00	„
2 Signalglocken	5,65	„
1 kg verzinnte Haken	1,00	„
3 „ Leitungsdraht	9,75	„
zusammen	61,60	*M*



Sch. Schwimmer. L. Leerkontakt. V. Vollkontakt.
Fig. 201.

Betriebsstörungen.

Hat man für die Einrichtung einer Läutwerkanlage nur gute Materialien und Apparate angeschafft, so werden Stockungen im Betriebe sich nur selten einstellen. Geschieht dies dennoch, so verfahre man nach einer bestimmten Methode zur Auffindung der Fehler und zwar an der Hand einer vor der Anlage entworfenen und aufbewahrten Skizze. Man sucht

die Fehlerquellen 1) in der Batterie; 2) in den Leitungen; 3) in den Apparaten.

Man besichtigt die Batterie von Element zu Element, die Verbindung der Polklemmen mit den Kohlen; häufig sind diese Klemmen mit einer Oxydschicht von Grünspan überzogen; man thut dann sehr gut daran, die Köpfe der Kohlen frisch zu paraffinieren.

Versagt die ganze Anlage plötzlich, so liegt höchst wahrscheinlich ein Bruch der Leitungsdrähte vor: unvorsichtig eingeschlagene Nägel, feuchte Wände, salpeterhaltige Steine, frisches Tünchen, von den Batterien aufsteigende Gase können Schuld an der Zerstörung sein.

Ist auch hier kein Fehler gefunden worden, so liegt er in den Apparaten; man ziehe deren Schrauben an, schabe die Drahtenden blank; klingen die Glocken beständig fort, so wird Kurzschluss in den Apparaten vorhanden sein, der Platinstift liegt z. B. zu fest auf dem Platinplättchen. Vielfach sind die Regulierungsschrauben locker, die Platinplättchen durchgeschlagen, bisweilen haben die Elektromagnete zu viel remanenten Magnetismus. Einen etwaigen Bruch in den Magnetdrähten untersucht man mit einem Galvanoskop, indem man dieses unter Zwischenschaltung eines galvanischen Elementes mit den Enden der Drähte verbindet. Vergl. Stromleiter, Umschalter und Läutwerke für Wechselströme.

Kapitel X.

Induktion und Induktionsapparate.

Grunderscheinungen. Faraday 1831.

a. Versuche. 1. (Fig. 202.) Legt man zwei Leiter AK und A'K' parallel neben einander, schaltet in die Schleife des einen eine Batterie B und einen Schlüssel S, dagegen in die Schleife des andern einen sehr empfindlichen Multiplikator, so beobachtet man jedesmal, wenn man den Schlüssel niederdrückt, einen Ausschlag der Galvanometernadel. Dieser Ausschlag ist nur vorübergehend und zeigt zugleich an, dass der die Nadel ablenkende Strom dem ihn erregenden (induzierenden) Batteriestrom entgegengesetzt ist. Öffnet man, nachdem die Nadel zur Ruhe gekommen, den Schlüssel, so weicht die Nadel wieder ab, aber nach entgegengesetzter Richtung. Man heisst den Batteriestrom auch den primären oder Hauptstrom und die durch ihn im andern Leiter hervorgerufenen Ströme sekundäre, induzierte oder Induktionsströme.

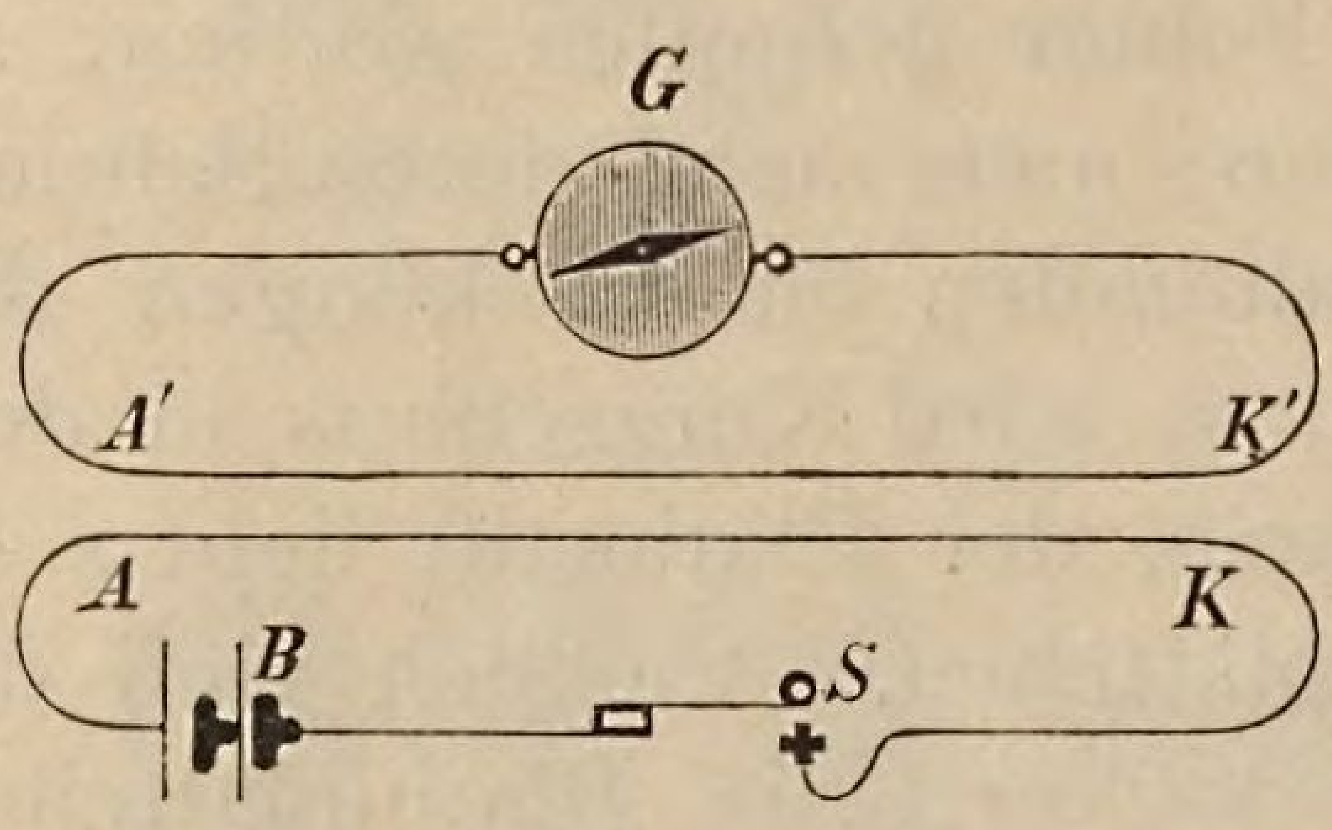


Fig. 202.

2. (Fig. 203.) Kitte mit Schellack aus wohl

isoliertem Kupferdraht von 0,5 bis 0,8 mm Dicke auf Glas- oder Schiefertafel zwei gleiche ebene Spiralen von etwa 10 cm Durchmesser und lege sie direkt oder durch ein Papierblatt oder eine Glasscheibe getrennt aufeinander; schalte wieder in die eine Spirale ein Galvanometer und in die andere eine Batterie und einen Schlüssel ein. Bei dem gleichen Verfahren wie im ersten Versuch erhält man stärkere Ausschläge der Galvanometernadel.

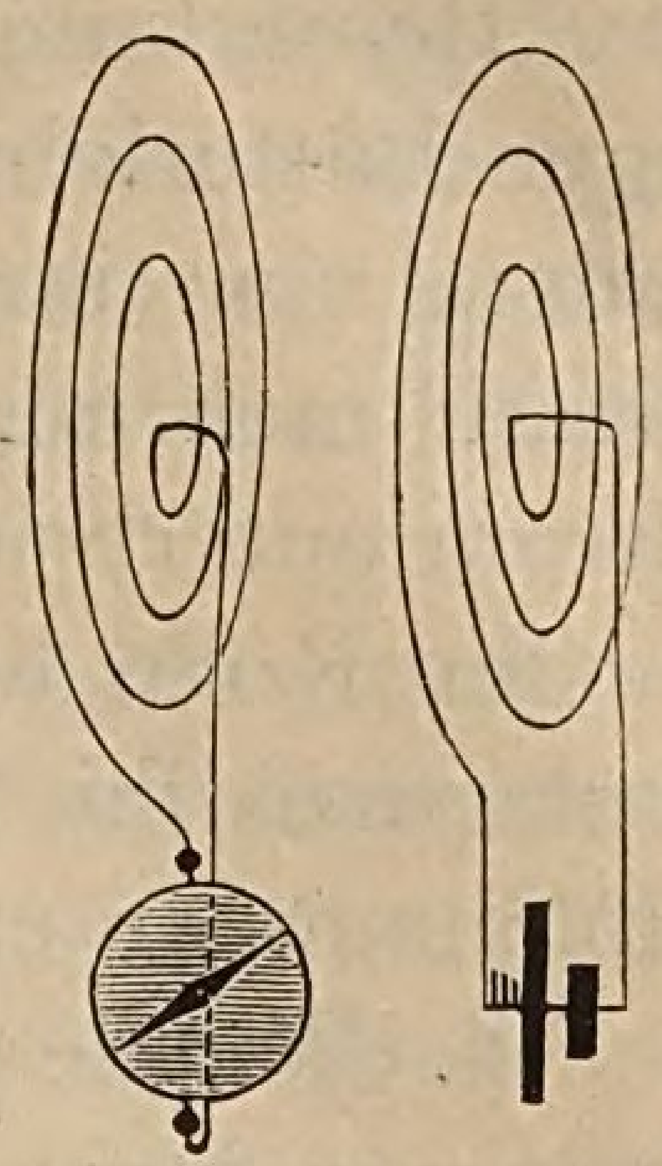


Fig. 203.

3. (Fig. 204.) Fertige aus etwa 60 m isoliertem Kupferdraht von 0,8 bis 1 mm Durchmesser und einer Hülse aus Holz oder Karton eine Rolle von etwa 10 cm Länge und 2 cm Weite mit quadratischen Endscheiben aus Holz von 1 cm Dicke, verbinde die Drahtenden mit einem fernstehenden Galvanometer und stosse in die Rolle einen starkmagnetisierten Magnetstab von etwa $1\frac{1}{2}$ cm Durchmesser und 30 cm Länge; die Nadel zeigt momentane Ausschläge.

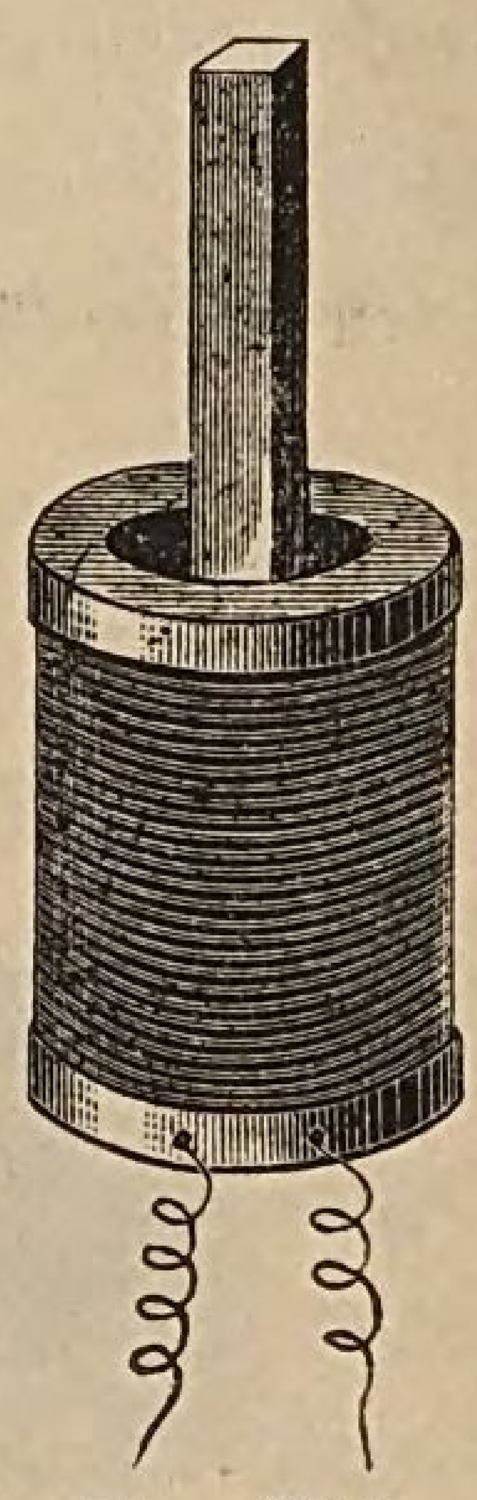


Fig. 204.

Beobachte a. den Ausschlag der Nadel beim Einstossen des Stabes in die Rolle; b. beim Herausziehen; kehre den Stab um und merke wieder a und b.

Man heisst die durch Bewegung eines Magneten in einer Leitungsrolle erregten Ströme **Magnetinduktionsströme**; während man die durch galvanische Ströme in einem andern Leiter

erregten Ströme galvanische Induktionsströme nennt.

Bemerkung. Mit dieser Rolle und einer kräftigen Batterie magnetisiert man den harten Stahlstab, indem man ihn, während der Strom durch die Rolle fliesst, mehrmals darin hin- und herbewegt und den Strom unterbricht, während der Stab mit seiner Mitte in der Rolle liegt. Statt den Stahlstab zu bewegen, kann man ihn auch, in der Rolle haltend, mit einem Holzhammer erschüttern.

4. Wickle (Fig. 204a) um einen weichen Eisenstab von etwa 15 cm Länge und 1 cm Dicke eine einfache Lage isolierten Kupferdrahtes (0,8 bis 1 mm dick) und bewege diesen Elektromagneten, während der Strom eines kräftigen Elementes oder einer Batterie durch sein Gewinde fliesst, wie vorhin den

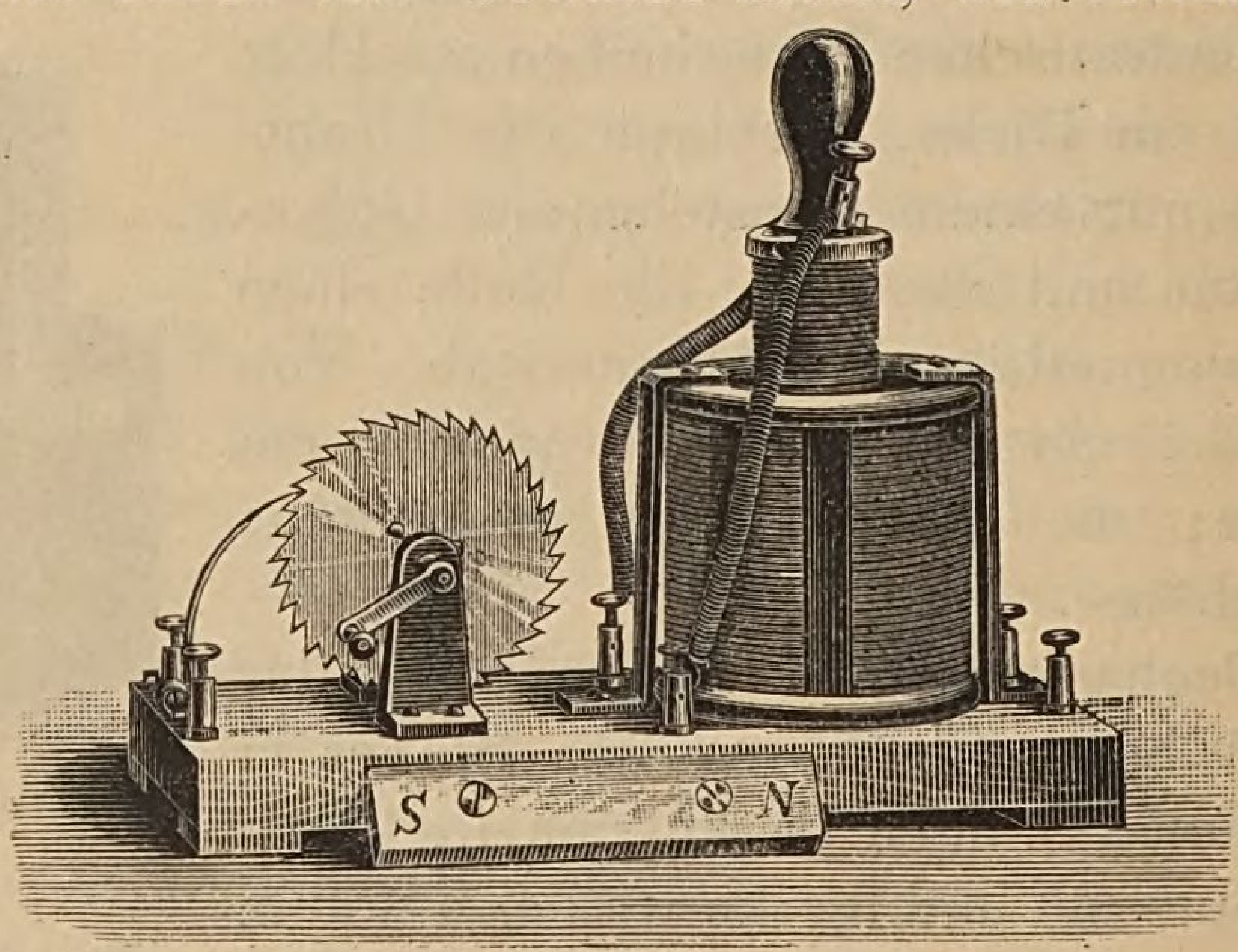


Fig. 204a.

Magnetstab, in der Rolle auf und ab; die Magnetnadel wird noch stärkere Ausschläge geben als früher, weil diesmal Magnet- und Strominduktion zusammen-

wirken. Merke wieder die vier möglichen Fälle. Statt die primäre Rolle zu bewegen, kann man ihren Strom durch ein Zahnrad unterbrechen (Fig. 204a), indem man den positiven Strom zur Feder über das Rad zu dessen Metalllager und von hier zur Klemme führt, den negativen Strom aber direkt vom Element zur zweiten Polklemme leitet.

5. Induktion in die Ferne. 1884 wurde entdeckt, dass telegraphische Ströme auf parallellaufende telephonische Stromkreise bis 25 m, sogar auf 17 km einwirkten. Als Henry 1842 im Obergeschosse seines Hauses Leydner Flaschen entlud, erzeugten die elektrischen Wellen Funken in einer im Keller befindlichen grossen Induktionsspirale. Nach Preece sind zum Fernsprechen ohne Drahtverbindung dre Anordnungen möglich: einfache parallel in der Höhe ausgespannte Drähte mit Erdschluss an beiden Enden; parallele Spulen mit einer oder mehreren Windungen; horizontale in einer Ebene angeordnete Spulen mit einer oder mehreren Windungen.

Versuch. Man befestigt auf zwei quadratische Bretter von etwa 75 cm Seite grosse Spiralen aus übersponnenem Eisendraht von 3 mm Dicke; schaltet zwischen die Polklemmen des einen einen starken Strom und Morsetaster ein und zwischen die Polklemmen des andern ein Telephon und befestigt die Bretter parallel; die Stromunterbrechungen erregen Induktionsströme im Telephon bis auf 6 m Entfernung.

Ein sorgfältiger Versuch ergab, dass die Entfernung von 780 m mit Sicherheit mittels eines Stromes von 1 Ampère mit Spulen von 9 Windungen 4,2 mm dicken Eisendrahtes mit einem Spulendurchmesser

von 18,3 cm überwunden werden konnte. Bei grösseren Entfernungen werden die Spulen horizontal gelegt.

b. Erklärung mittels der Kraftlinien. Die über Induktion, magnetische Kraftlinien und Induktionsströme beschriebenen Versuche weisen auf einen Zusammenhang zwischen den magnetischen und elektrischen Erscheinungen hin. Wenn sich ein Leiter (Rolle) in einem magnetischen Felde befindet, mag dieses durch einen Magnetstab oder eine Hauptrolle erzeugt sein, so entsteht im geschlossenen Leiter ein Strom, so oft als eine Änderung im magnetischen Felde eintritt, sei es, dass die Induktionsrolle oder der Magnetstab oder die Hauptrolle ihre Stellung wechseln.

(Fig. 205.) Betrachten wir den Fall mit einem Magnetpol. Von diesem strahlen Kraftlinien nach allen Richtungen im Raume aus, treten aber mit der Entfernung vom Pol immer mehr auseinander, so dass, wenn

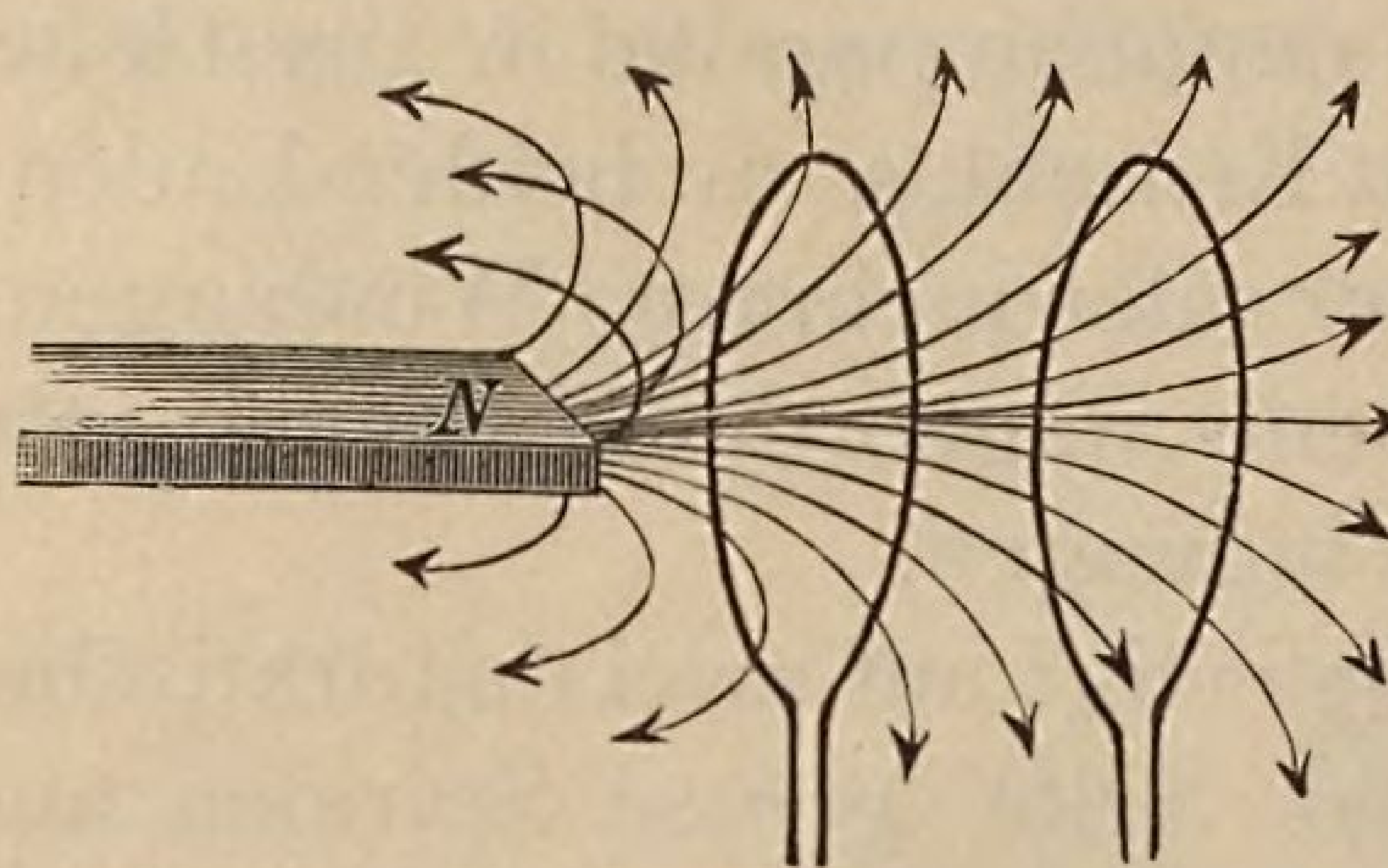


Fig. 205.

wir einen Kupferring senkrecht zur Achse des Magneten halten, dieser um so mehr Kraftlinien durchschneidet, je mehr er dem Pol genähert wird; durch diese Annäherung werden in ihm Induktionsströme erregt.

„So oft also ein Leiter sich in einem magnetischen Felde befindet, erzeugt eine Änderung in der Anzahl der durchschnittenen Kraftlinien in dem Leiter eine elektro-

motorische Kraft und deren Grösse ist abhängig von der Änderung der Anzahl der magnetischen Kraftlinien."

c. Anwendung findet die Induktion mittels der Magnete in den magnet- und dynamoelektrischen Maschinen und Motoren, in den Induktionsapparaten, im Telephon und im Transformator.

d. (Fig. 205a.) Stromrichtung. Nimmt beim Bewegen des Magneten die Zahl der die Fläche der Rolle (R) treffenden Kraftlinien zu und betrachtet man die Rolle in der Richtung der Kraftlinien (von oben), so entsteht ein Strom, der der Uhrzeigerbewegung entgegengesetzt verläuft.

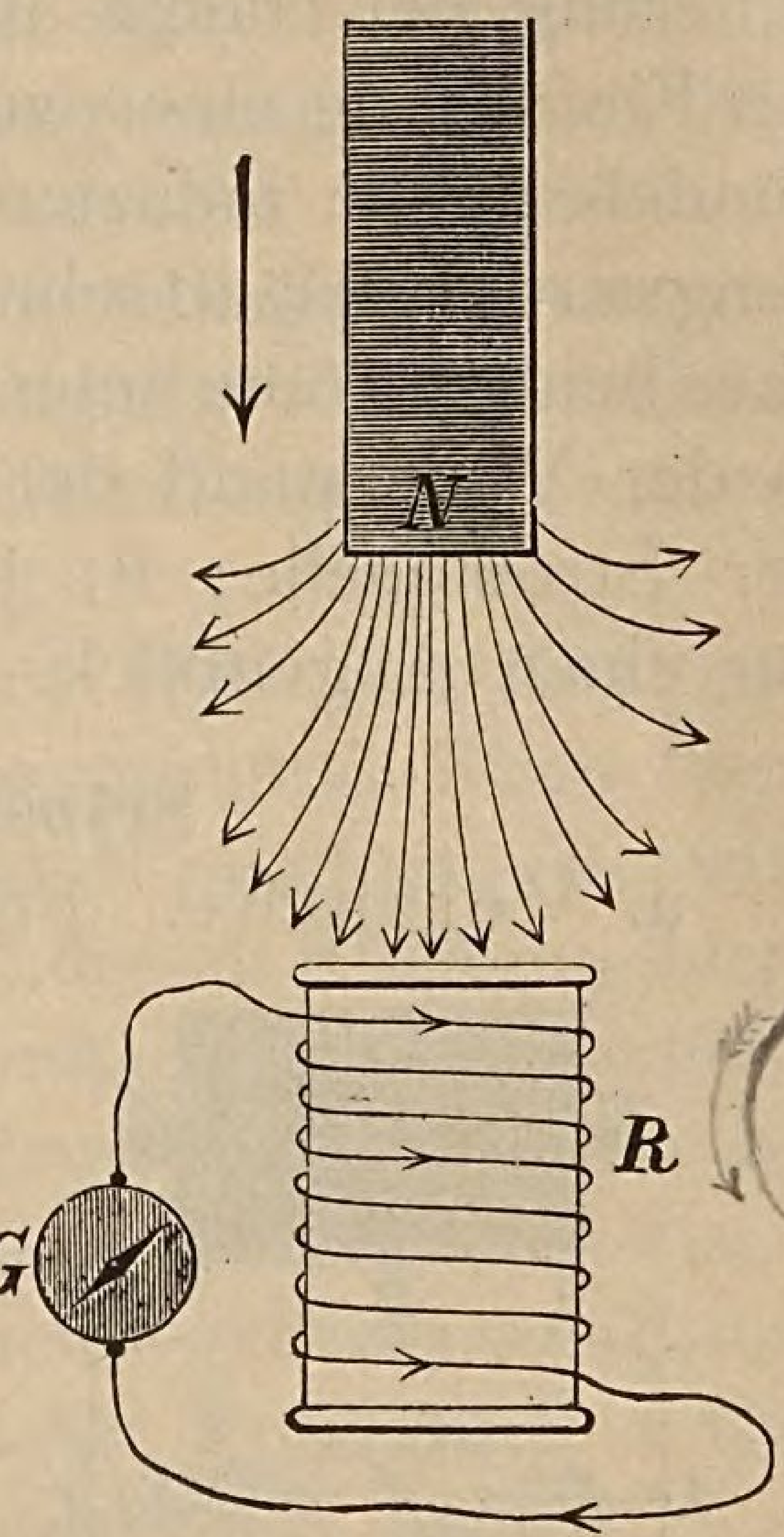


Fig. 205a.

Man nimmt an, dass die Kraftlinien vom Nordpol zum Südpol gerichtet seien.

Andere Regel. Halte die rechte Handfläche senkrecht zu der Richtung der in sie eindringenden Kraftlinien und den ausgestreckten Daumen in die Richtung der Bewegung, so fliesst der induzierte Strom in der Richtung der Finger.

Bei Stromzuleitung dringen die Kraftlinien zum Handrücken ein, bei der Induktion aber zur Handfläche, wenn der Daumen in die Richtung der Bewegung und der Zeigefinger in die Richtung des Stromes zeigen.

e. Gesetze. Die EMK der Induktionsströme wächst 1) mit der Windungszahl der Nebenrolle; 2) mit der Stärke des erregenden Magneten oder mit der Windungszahl der Hauptrolle und der Stärke des Hauptstromes; 3) mit der Wechselzahl in der Zeiteinheit, jedoch bei grösserer Wechselzahl langsamer als bei kleinerer; 4) mit dem Widerstand der Drahtwindungen der Nebenrolle; 5) mit der Annäherung der Haupt- und der Induktionsrolle; 6) mit der Einführung eines weichen Eisenstabes oder Eisenbündels in die induzierende Hauptrolle; 7) der Öffnungsstrom verläuft schneller als der Schliessungsstrom, aber beide Ströme liefern gleiche Elektricitätsmengen; 8) der Widerstand der Hauptrolle sei gleich dem der Stromquelle; 9) jeder Induktionsstrom dauert nur einen Augenblick. Bestätigung mit Fig. 204a.

Selbstinduktion.

a. Versuche. Fig. 206. R sei eine Rolle, die mit Draht in ziemlich vielen Windungen angefertigt und mit einem Eisenstab ausgefüllt ist. Ihre Enddrähte können mit den Polen eines galvanischen Elementes oder einer Batterie B derselben durch den Schlüssel S verbunden werden; bei A und C ist ein Nebenschluss eingeschaltet, der ein Galvanometer G und einen veränderlichen Widerstand W (Widerstands-

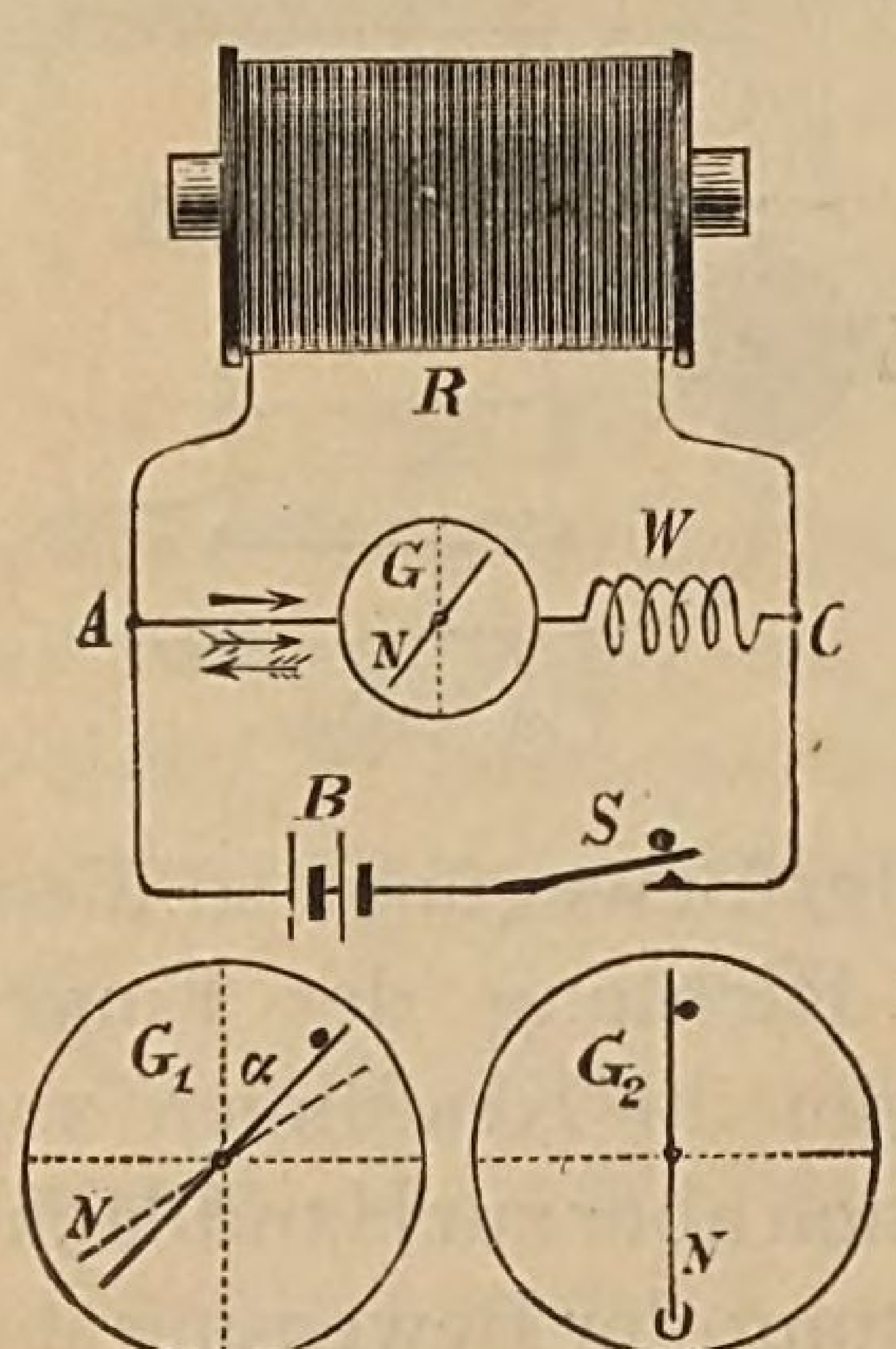


Fig. 206.

kasten oder Linearwiderstand) enthält. Wird S niedergedrückt, so fliesst der Strom in der Richtung des einfachen Pfeiles durch R und über G und lenkt die Nadel N ab; W wird nun so reguliert, dass N etwa auf 45° steht; dann legt man ein Holzstück oder einen vom drehbaren Gehäuse herabreichenden Messingdraht so an N, dass es gerade in seiner Stellung festgehalten wird und öffnet den Schlüssel. Nach Eintritt der Ruhe drückt man S wieder nieder, N schlägt in derselben Richtung noch über den Ablenkungswinkel α aus, wie G_1 andeutet: zum primären Strom ist somit noch ein Strom hinzugekommen, der ihn verstärkt, die Richtung des primären Stromes hat (doppelt gefiederter Pfeil) und Schliessungsextrastrom heisst.

Sodann hält man N auf Null fest (G_2) und schliesst S; N kann aber dem primären Strom nach rechts nicht folgen; wird jetzt S geöffnet, so treibt der Öffnungsextrastrom, dessen Richtung durch den dreifach gefiederten Pfeil angezeigt ist, nach links.

Man ändert ferner die Stromstärke, wählt andere Rollen, operiert ohne Eisenstäbe, mit massiveren Eisenstäben und Bündeln aus feinen, gefirnissten Eisendrähten und gelangt zu den im Folgenden aufgeführten Gesetzen der Selbstinduktion.

Mit dem Differentialgalvanometer (Kap. XV) hat Edlund die Extraströme so nachgewiesen. Fig. 206a: Der Schlüssel S wird geschlossen und der Strom in beiden Windungen des Galvanometers verzweigt, über den veränderlichen Widerstand W mit bifilar gewundenen Rollen nach PP_1 zum Zink und über R nach pp_1 gleichfalls zum Zink; W wird so

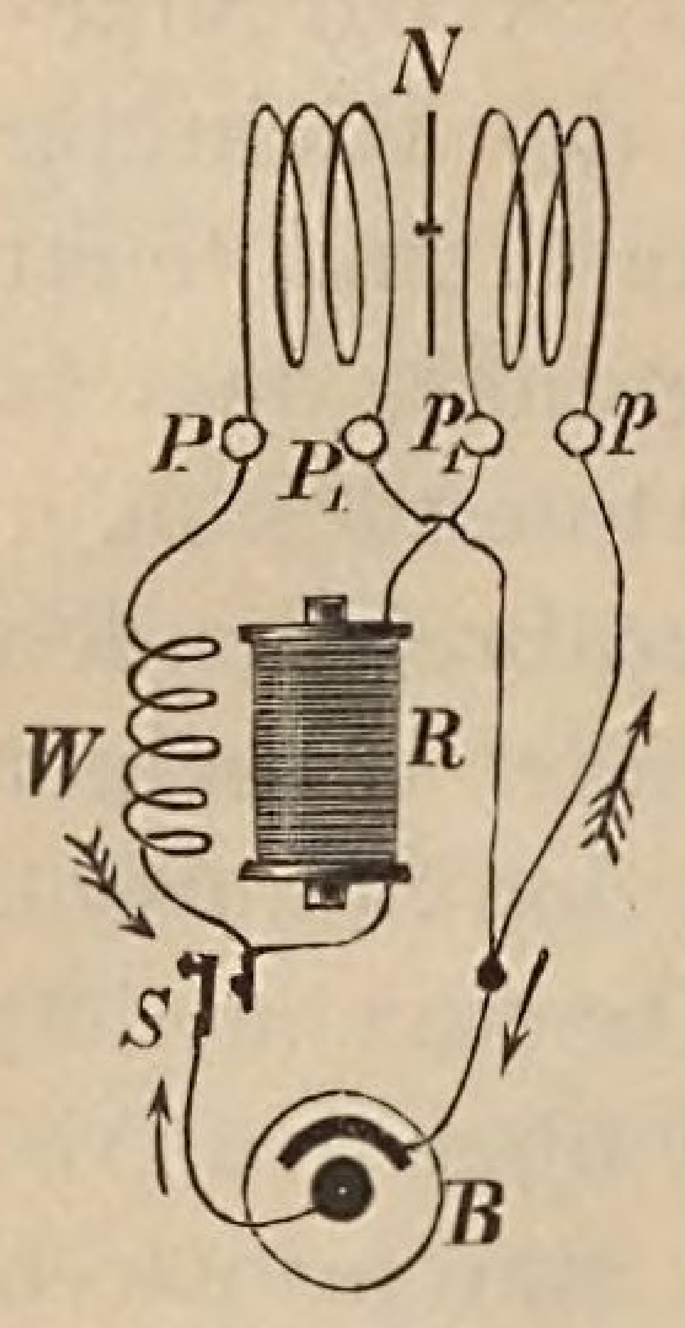


Fig. 206a.

reguliert, dass die Nadel N auf Null steht; wird S geöffnet, so zeigt N einen Strom an, der in der Richtung des dreifach gefiederten Pfeiles fliesst.

b. Analogie. Die Wirkungen der Selbstinduktion sind mit dem zu vergleichen, was man in der Mechanik Trägheit oder Beharrung nennt. So wie man einen ruhenden schweren Körper nicht augenblicklich in Bewegung oder einen bewegten in Ruhe versetzen kann, so vermag man auch den elektrischen Strom nicht sofort zu erregen oder zu unterbrechen. Man bezeichnet darum die Selbstinduktion mit dem Namen elektrische Beharrung oder Trägheit.

Wirft man einen Stein in ruhiges Wasser, so breiten sich dessen Wellen nach und nach aus und werden vom Ufer zurückgeworfen; ebenso pflanzen sich die magnetischen Kraftlinien (Ätherwellen), wenn man einen Strom durch einen Leiter sendet, in zwar beinahe unmessbarer, aber doch nicht in verschwindender Zeit im Raume fort (300 000 km in der Sekunde). Die bei Stromunterbrechung zurückkehrenden Ätherwellen schneiden den Leiter und erzeugen so den Selbstinduktions- oder Extrastrom. Die im Äther aufgespeicherte Energie wird in Form des Extrastroms wieder gewonnen. Vergl. die magnetischen Wirbel in Fig. 94 und 95.

c. Gesetze. Die Selbstinduktionsströme sind 1) in einzelnen geraden Drähten kaum merklich, beträchtlich in Spiralen und werden in diesen durch

Einlegen eines Kernes von weichem Eisen verstärkt; durch bifilare Wickelung wird sie aufgehoben; 2) ihre EMK wächst mit der Windungszahl der Rolle, mit der Stärke des Hauptstromes oder dessen Kraftlinienzahl und mit der Wechselzahl in der Zeiteinheit; 3) bei gleichbleibender Stärke des Hauptstromes ist die EMK des Öffnungsstromes gleich denjenigen des Schliessungsstromes; 4) die Selbstinduktionsströme verzögern die Änderungen im Hauptstrom.

Ein Selbstinduktionsapparat.

(Fig. 207.) Konstruktion. Befestige die im dritten Versuche über Grunderscheinungen beschriebene Rolle auf ein Brettchen (durch Holzschrauben von unten), fülle ihre Röhre mit weichen, 1 mm dicken, schellackierten oder asphaltierten Eisendrähten so aus, sodass sie auf jeder Seite noch 5 mm hervorstehen und bringe vor einem Ende einen Selbstunterbrecher an (vergl. Läutwerke). Dieser besteht hier aus einem dünnen, harten Messingstreifen (etwa 10 mm breit), dessen unteres umgebogenes Ende aufs Grundbrett geschraubt und an dessen anderes Ende ein weiches Eisenstückchen H von etwa 1 cm im Quadrat und 5 mm Dicke gelötet wird. Etwas unterhalb dieses Hammers und auf der anderen linken Seite ist ein Platinplättchen gelötet. An dieses Platinplättchen lehnt sich die Regulierungsschraube mit Platinspitze. Der Träger R der Schraube ist aus einem Messingstreifen von 2 bis 3 mm Dicke und

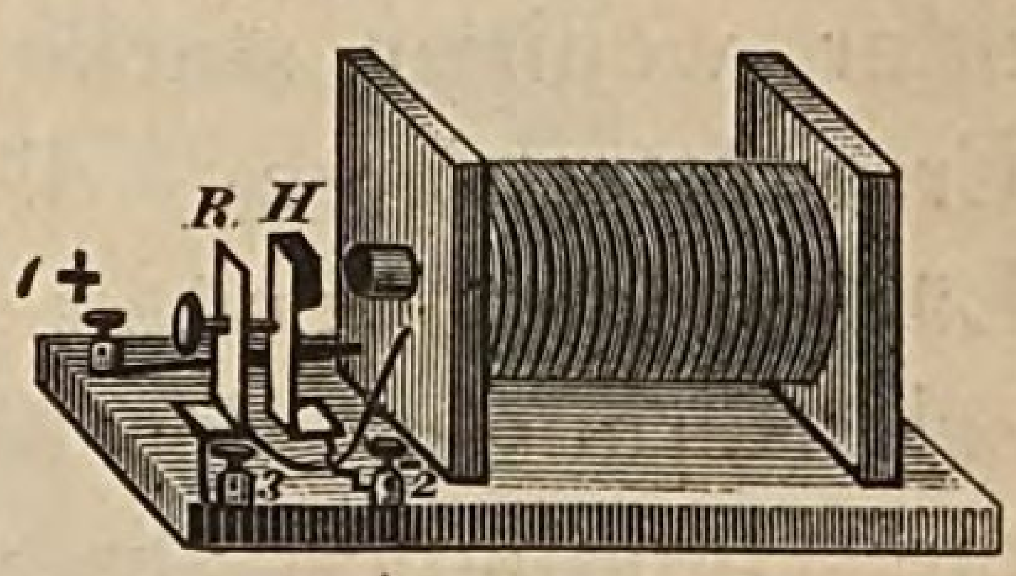


Fig. 207.

1,5 cm Breite gebildet und mit Holzschrauben gleichfalls auf das Grundbrett befestigt. Das eine Drahtende der Rolle ist unter der Polklemme 1 (mit unterlegter Messingscheibe), das andere bei R angeschraubt, R und Polklemme 3, sowie H und Polklemme 2 sind durch Leitungsdrähte verbunden. In 1 und 2 werden die Leitungsdrähte eines Flaschen-Elementes und an 2 und 3 die Handhaben (Stücke von Messingröhren von 2 bis 3 cm Weite und 10 cm Länge) geklemmt. Statt mit dem Selbstunterbrecher kann man den Strom mit einem Zahnrad unterbrechen.

Experimente mit dem Selbstinduktionsapparate.

Fasst man die Handhaben mit angefeuchteten Händen, so erhält man je nach Stärke des Batteriestroms und nach der Windungszahl der Rolle mehr oder weniger starke, rasch auf einander folgende Erschütterungen, die bisweilen zur Heilung von Lähmungen benützt werden. Bei zu heftigen Erschütterungen der Muskeln und Nerven hält man die Handhaben zusammen, die Stromstösse kreisen durch diese, ziehen den Hammer gegen den Elektromagneten, der Apparat steht stille.

Elektrischer Gasanzünder. (Fig. 208). Infolge der Bequemlichkeit und Gefahrlosigkeit, welche die Anwendung elektrischer Gasanzünder gegenüber dem Anzünden der Gasflamme mittels Streichhölzchen bietet, haben in neuester Zeit die genannten Apparate in den Haushaltungen, namentlich aber auch in Warenlagern und sonstigen, brennbare Stoffe enthaltenden Räumen, immer mehr Ein-

gang gefunden. Die Abbildung zeigt eine von R. Blänsdorf Nachfolger in Frankfurt a. M. konstruierte Vorrichtung, welche sich durch leichte Handhabung und sichere Wirkung empfiehlt. An dem

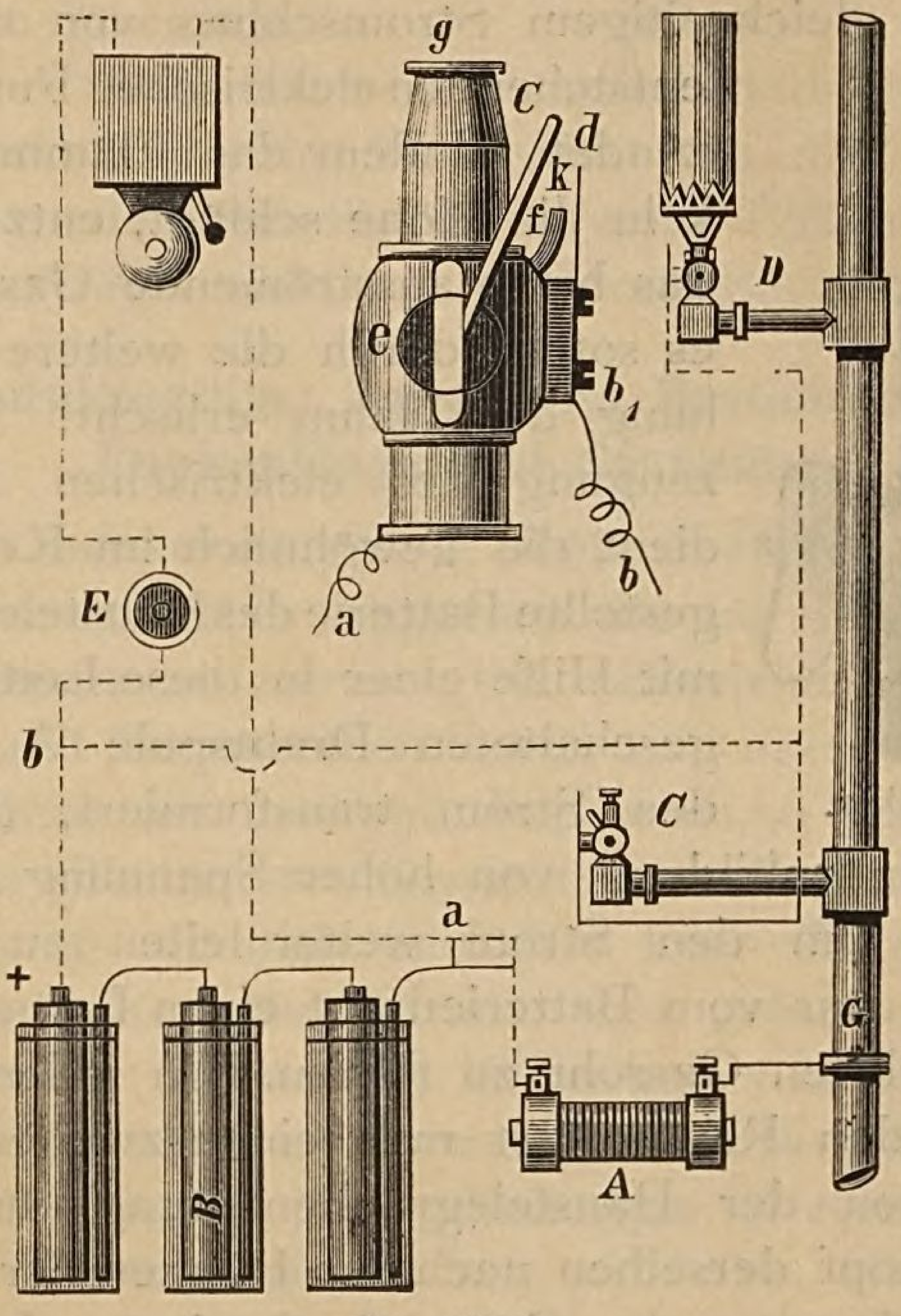


Fig. 208.

Brenner g (Fig. 208) ist bei a und b die elektrische Zuleitung ersichtlich, sowie dass die positive Leitung a durch den mit doppelter Bohrung versehenen Gashahn e nach dem mit demselben verlöteten Stäbchen c, dagegen die negative Leitung b nach dem Isolierstück b_1 und dem Metallplättchen d geht. Die grössere Bohrung des Hahns führt zum Brenner, die

kleinere zu dem Hilfsröhrchen f. Wird nun der Hahn aufgedreht, so passiert er nach einer Achtelsumdrehung das Röhrchen f und lässt hier eine ganz geringe Gasmenge austreten, die sich sofort durch den bei gleichzeitigem Stromschluss von c und d entstehenden elektrischen Funken entzündet. Indem das Flämmchen bei k in die Höhe schlägt, entzündet es das bei g ausströmende Gas, worauf es sofort durch die weitere Umdrehung des Hahns erlischt. Zur Erzeugung des elektrischen Funkens dient die gewöhnlich im Keller aufgestellte Batterie des Haustelegraphen mit Hilfe einer in diese Leitung eingeschalteten Drahtspule A, welche den Strom transformiert, d. h. zu einer Funkenbildung von hoher Spannung geeignet macht. Um den Strom weiter leiten zu können, hat man nur vom Batteriedraht einen Leitungsdraht zum nächsten Gasrohr zu führen. In jedem zu beleuchtenden Raum lässt man einen zweiten kurzen Draht von der Haustelegraphenleitung durch den Druckknopf derselben nach den Hähnen der Leuchtkörper (Lustre oder Gasarm) abgehen. In vorstehenden Figuren 208 und 208a bezeichnen B die Batterie, C und D zwei Gashähne (einen für einen gewöhnlichen Brenner, den anderen für einen Argand-Brenner), E den Telegraphenknopf irgend eines Zimmers, a die Stelle, wo der zweite Leitungsdraht von der Batterie nach dem Hauptgasrohr abgezweigt wird, b diejenige Stelle, wo der zweite

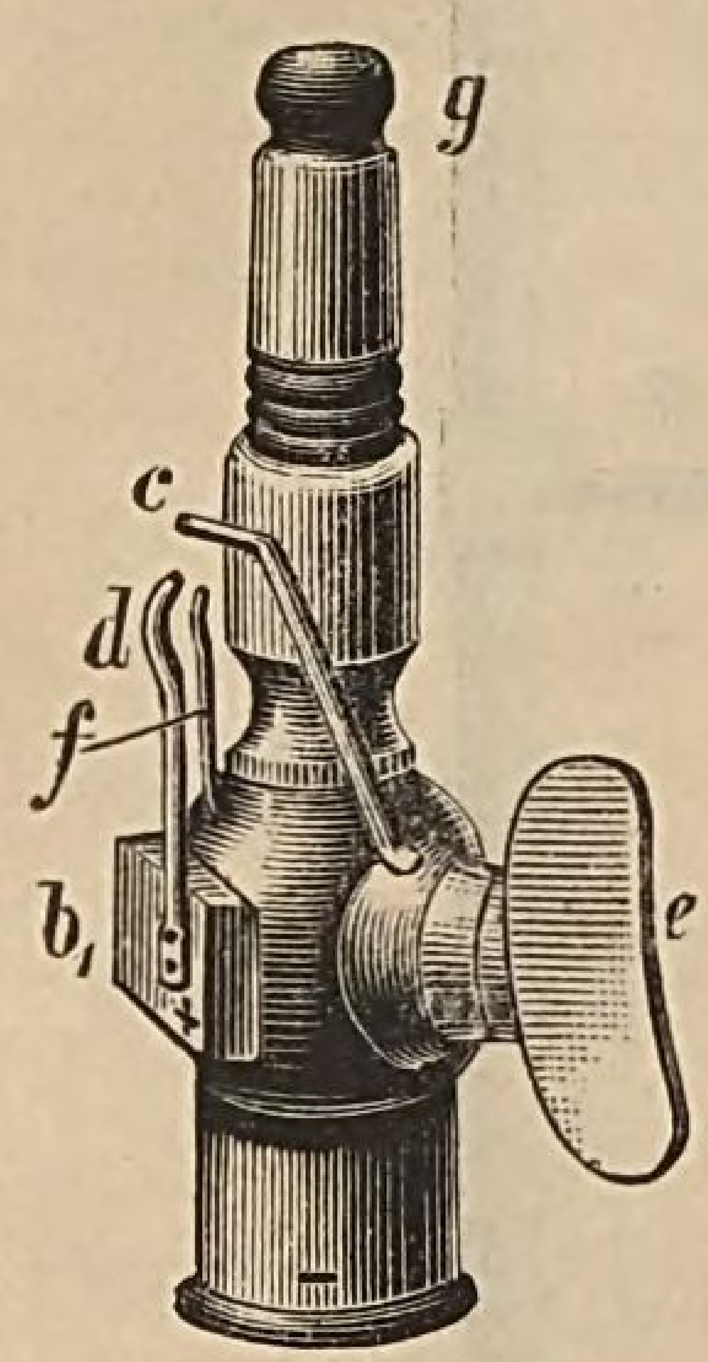


Fig. 208a.

Leitungsdraht von der Hauptleitung nach den Gashähnen abgeführt wird. Diese einfachen Leitungsänderungen in Verbindung mit dem Brenner genügen, um die selbstthätige Gaszündung in zuverlässiger Weise zu bewirken.

Jedes Läutwerk wird zum Selbstinduktionsapparat, wenn man (Fig. 165, 166a, 168) die Leitungsdrähte zu den Handhaben in einer Polklemme und am Ankerträger einklemmt. Vergl. Einschlagglocke.

Induktorium: Zweck und Bestandteile; Funkenlänge und Spannung.

Der Induktionsapparat (Rühmkorff 1851) ist einer der interessantesten Apparate, die das Laboratorium eines Dilettanten zieren. Die zahlreichen Versuche, die sich mit ihm anstellen lassen, und die auffallenden Wirkungen, die man mit ihm erreicht, machen ihn zu einem allbekannten Gegenstande. Zudem ist seine Anfertigung ziemlich einfach. Der Zweck des Induktoriums ist, Ströme von grösserer Stärke und niederer Spannung in Ströme von geringerer Stärke und höherer Spannung zu verwandeln oder zu transformieren; das Induktorium ist also ein elektrischer Transformator.

Wir geben zunächst an einer schematischen Zeichnung eine Uebersicht über die Bestandteile des Apparates. Fig. 209. Über ein Bündel weicher Eisendrähte D ist die dickdrahtige Wickelung AA die Hauptrolle gelegt und über diese die dünndrahtige oder Nebenrolle BB, deren Enden zu den von Glassäulen getragenen Messingkugeln führen, durch welche hindurch 2 mm dicke Kupfer- oder

Messingdrähte mit Platinspitzen einander genähert werden können. Wie beim Selbstinduktionsapparat steht vor dem einen Ende des Eisenbündels der Selbstunterbrecher mit dem Hammer H und der Regulierungsschraube R. Der positive Strom eines Flaschen-Elementes fliesst durch die Polklemme P zur Schraube R, zur Hammerfeder H, durch die dickdrahtige Rolle und über die Polklemme P′ zurück zum Zink. Der Kondensator C ist zwischen der Hammerfeder und dem Träger der Regulierungsschraube R eingeschaltet.

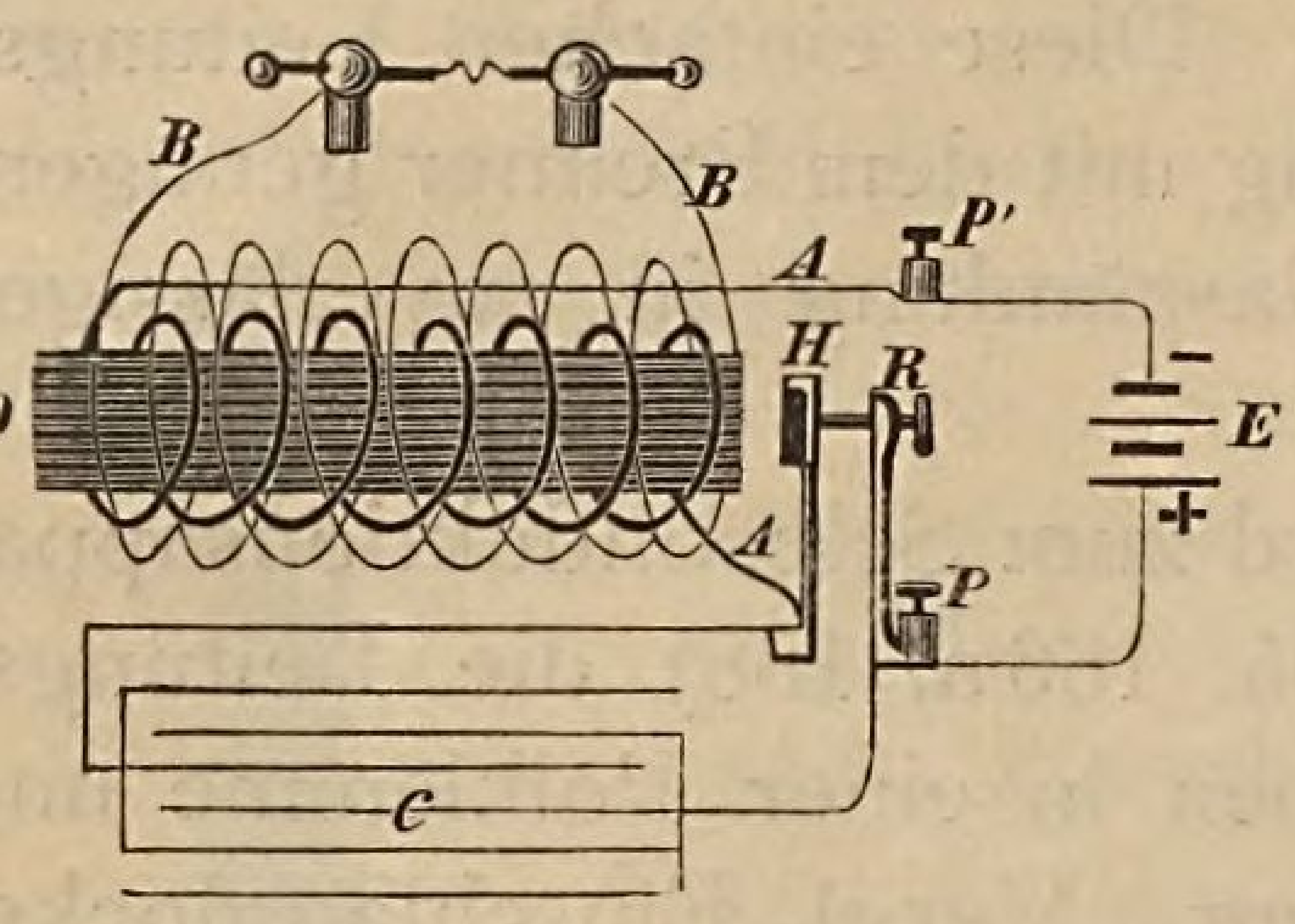


Fig. 209.

Die Funkenlänge, die man von einer Induktionsrolle erhält, ist bedingt 1. durch die Stärke des Stromes, der durch die primäre Rolle fliesst und damit auch durch die magnetische Wirkung des Eisenbündels; 2. durch die Länge des in der Nebenrolle verwendeten Drahtes; 3. durch die Grösse und Beschaffenheit des Kondensators, der den Selbstinduktionsstrom aufzunehmen hat; 4. durch die Art der Unterbrechungsvorrichtung; 5. durch die Isolation und sorgfältige Wickelung der Rollen und 6. durch die Dünne der Hüllen. 450 g Draht von 0,12 mm der Nebenrolle sollen 18 mm lange Funken erzeugen; bei Draht von 0,2 mm erhält man dieselbe Funkenlampe, aber dickere Strahlen von 675 gr.

Die Voltzahl des induzierten Stromes kann nach folgender Regel geschätzt werden. Die EMK einer Rolle ist die aller Windungen in derselben,

ebenso wie die EMK einer Batterie mit der Zahl der in Reihen verbundenen Elemente wächst. Ist daher die Zahl der Volt bestimmt, mit der der Strom durch die Hauptrolle fliesst, so multipliziere man sie mit der Verhältniszahl der Drahtwindungen beider Rollen und man erhält annähernd die gesamte EMK an den Polklemmen der Nebenrolle.

Einer Funkenlänge von 25 mm entspricht eine Spannung von 50 000 bis 60 000 Volt. S. Tabelle über Entladungsspannungen.

Die Grösse des Funkens hängt von dem Durchmesser des Drahtes der Nebenrolle ab. Ein dickerer Draht liefert einen grösseren Funken oder eine grössere Elektricitätsmenge als ein dünnerer; wünscht man büschelige Funken, so wickelt man Draht von 0,2 mm auf, fadenartige Funken erhält man aus Draht von 0,1 mm Durchmesser. Ein feiner Draht erzeugt einen stechenden und lokalen Schmerz und verhältnismässig geringe Muskelzuckungen, ein dicker sekundärer Draht ruft heftige Muskelzusammenziehungen hervor.

Induktorium: Konstruktion.

a. Fig. 210. Den Sockel des Apparats bildet ein 40 cm langes, 10 cm breites und 3 cm hohes Kästchen, das aus $\frac{1}{2}$ cm dicken Brettchen zusammengefügt wird. Das Bodenbrettchen wird nur mit einigen Holzschrauben befestigt. Längs des Randes der Oberseite leimt oder schraubt man 30 cm lange, quadratische Leisten von 1 cm Seite auf.

b. Man sägt sodann 3 quadratische Holzplatten von $\frac{1}{2}$ cm Dicke und 10 cm Seite. Die eine von den-

selben durchbohrt man in der Mitte und leimt in dieses Loch eine mit Schellack oder Paraffin getränkte Kartonröhre von $1\frac{1}{2}$ cm Durchmesser und

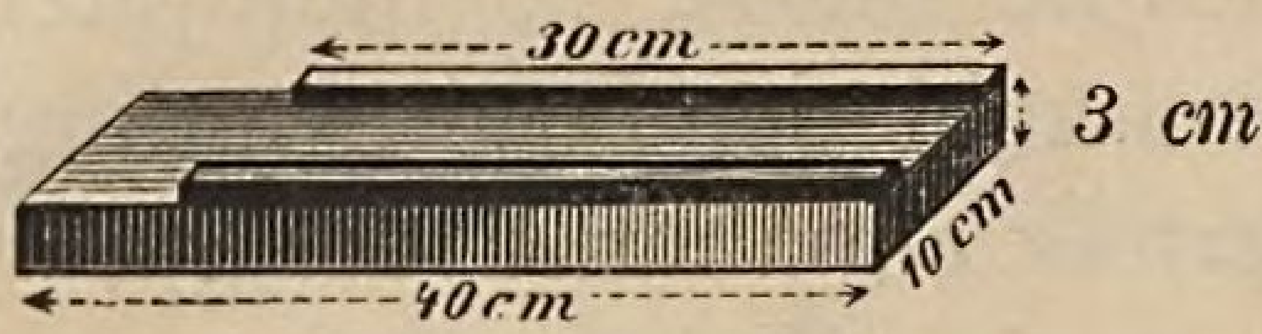


Fig. 210.

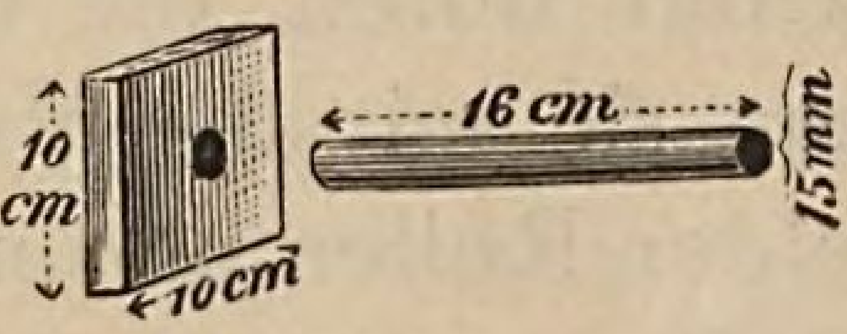


Fig: 211.

16 cm Länge. Fig. 211. Auf diese Hülse windet man isolierten Kupferdraht von 1 bis 1,5 mm Dicke in 4 Lagen, tränkt sie mit Paraffin und führt die Enden durch die Holzscheibe, die man nun auf den Sockel an die Enden der Leisten schraubt, so dass die Rolle mit der Oberseite genau parallel läuft. Fig. 214. Diese Röhre wird mit einem Bündel weicher gefirnisster oder verkupferter Eisendrähte von 1 bis 2 mm Dicke und 17 cm Länge ausgefüllt. Dieses Bündel hat zwei Zwecke zu erfüllen: 1) die magnetische Wirkung der primären Drahtrolle (Hauptrolle) zu verstärken und 2) den Hammer in Bewegung zu setzen. (Fig. 212.)

Bei Induktorien für medizinische Zwecke befestigt man häufig das Eisenbündel in einer Endscheibe so, dass man über dasselbe eine dünne Messingröhre schieben kann. Diese Röhre hat eine Millimeterteilung, an der man die Grösse der Verschiebung abliest. Das Eisenbündel wird zu diesem Zwecke am einen Ende in Salzsäure etwa 1 cm lang abgebeizt, in flüssiges Lot getaucht und so fest vereinigt. Dadurch, dass man die Messingröhre über das Eisenbündel schiebt, schwächt man dessen magnetische Kraft auf die Umgebung und damit dessen indu-

zierende Wirkung auf die darüber gewundenen Kupferdrahtlagen. Denselben Zweck erreicht man bei dem *Schlittenapparat* (Du Bois-Reymond 1849) durch Ein- und Ausziehen der dünndrahtigen Rolle.

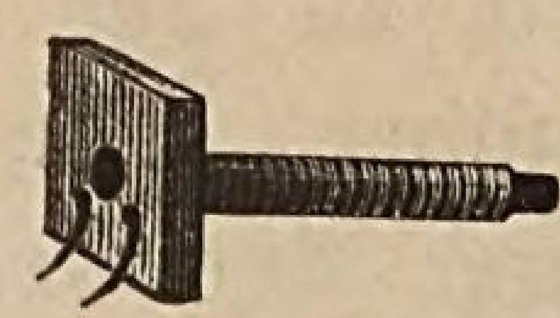


Fig. 212.

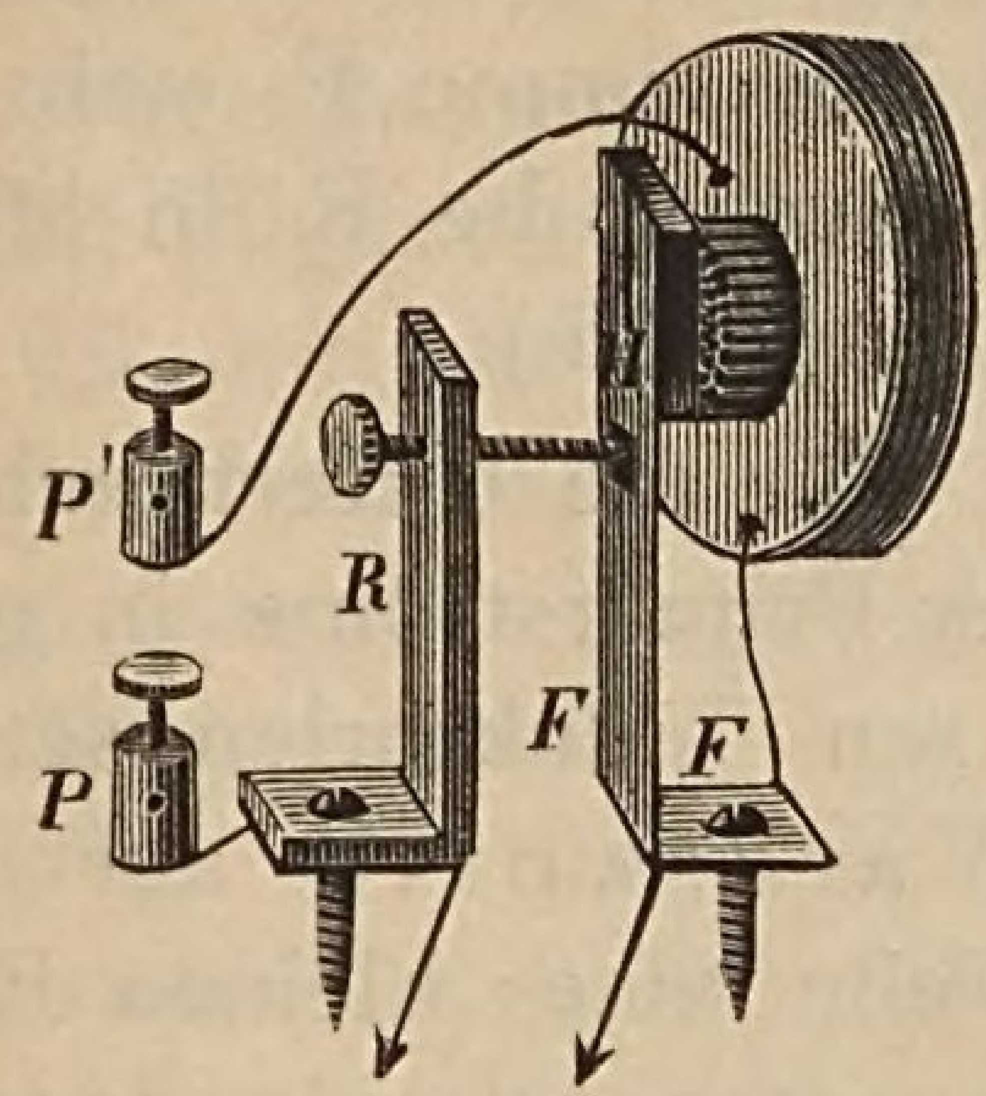


Fig. 213.

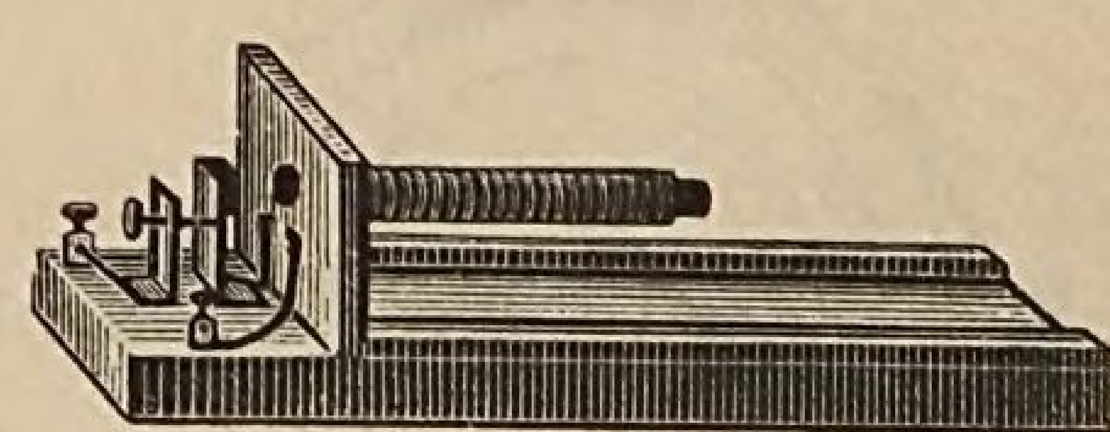


Fig. 214.

Ersetzt man das Eisenbündel durch einen kräftigen Magnetstab, so lassen sich damit und mit der Nebenrolle Wechselströme erzeugen. Vergl. Fig. 204 und 204a.

c. (Fig. 212.) Der *Hammer* H besteht aus einem flachen Stück sehr weichen Eisens von 1 cm Seite und $\frac{1}{2}$ cm Dicke, das an eine dünne Messing-, Neusilber- oder Stahlfeder F von etwa 6 cm Länge und 1,5 cm Breite gelötet oder geschraubt ist. Diese Feder F wird mit dem umgebogenen Ende so auf die Oberseite des Sockelkästchens geschraubt, dass der Hammer H dem Drahtbündel gegenüber, aber 3 bis 4 mm davon absteht. Für medizinische Zwecke muss diese Feder rasch schwingen, weil bei langsamen Schwingungen die heftigen Stromstösse sehr schädlich wirken können. Sodann wird hinter diese Feder der 2 bis 3 mm dicke, von oben bis zum

Schraubenloche eingesägte Träger R der Regulierungsschraube befestigt. Die Platinspitze oder Platinspirale der Schraube lehnt sich wieder gegen ein Platinplättchen. Das eine Drahtende der primären Rolle wird zu der Polklemme P′, das andere zur Feder geführt. Die zweite Polklemme P steht mit dem Träger der Regulierungsschraube R in leitender Verbindung. (Fig. 212 und 216.)

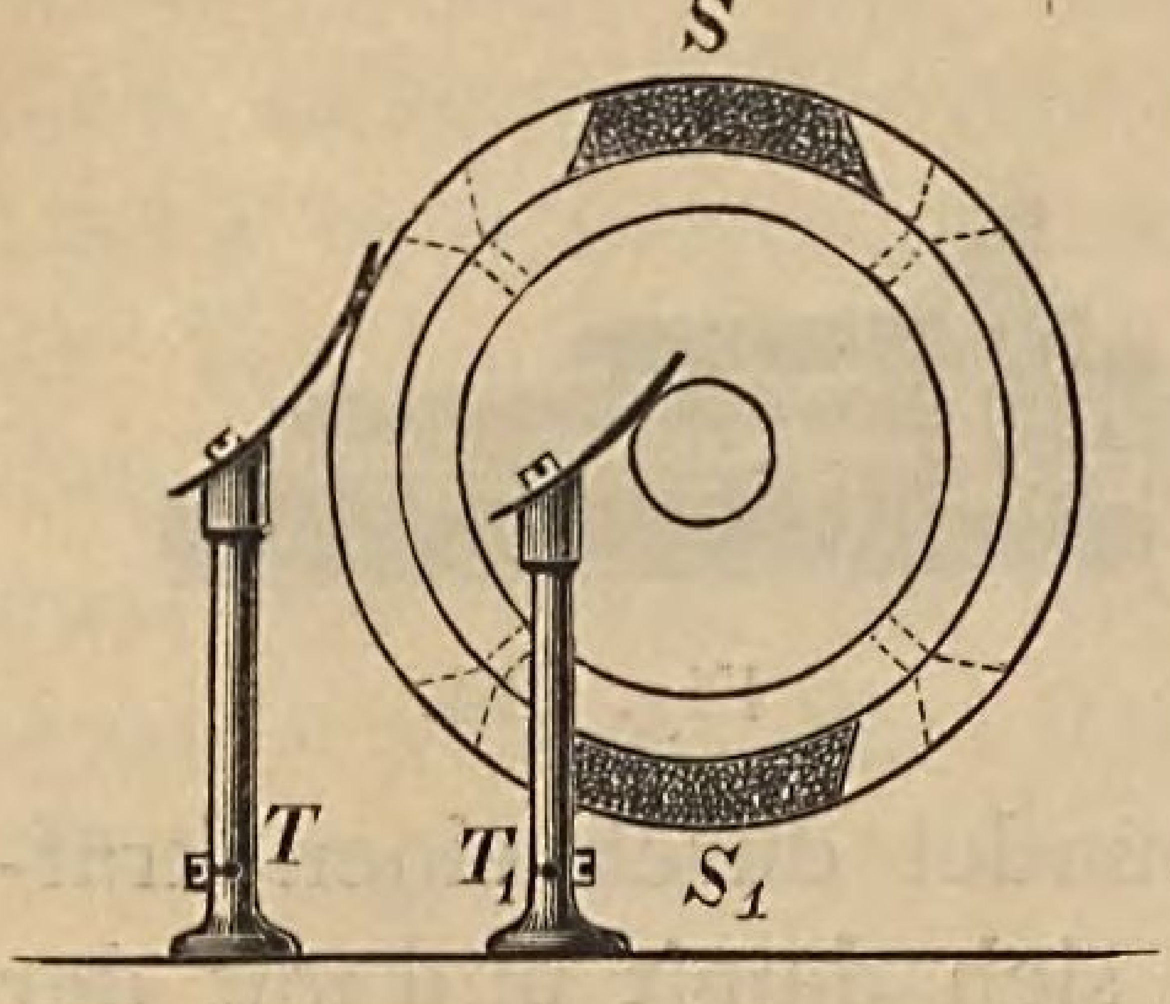


Fig. 214 a.

Für die Unterbrechung der Primärströme in grossen Induktorien setzt Wardsworth auf die Welle eines kleinen Elektromotors, der in der Minute ca. 1200 Umdrehungen macht, eine Messingscheibe. Die Segmente S u. S^1 umfassen etwa 50^0 Bogenlänge und sind aus Schiefer oder Holz oder Ebonit aufgepasst und schräg abgesägt; zwei Messing- oder Kupfersegmente halten sie fest und sind mit ihnen abgedreht; zwei Kupferfedern schleifen auf Welle und Scheibe.

Der eine Draht der Hauptrolle geht direkt zur Stromquelle, der andere zu T und T_1 ist mit dem anderen Pol der Stromquelle verbunden.

d. Für medizinische Zwecke schaltet man einen der früher beschriebenen Stromwender vor diese Polklemme PP′ ein, so dass die Stromrichtung rasch umgekehrt werden kann.

e. Nun verleimt man eine Kartonröhre von 15 cm Länge und solcher Weite, dass sie über die Haupt-

rolle ohne Reibung geschoben werden kann, paraffiniert sie und leimt sie in die beiden übrigen quadratischen Holzscheiben. Zu dieser Nebenrolle wählt man seidenübersponnenen oder auch blanken Draht. Letzteres Verfahren verursacht zwar mehr Mühe und erheischt mehr Geschicklichkeit, lohnt sich aber durch Billigkeit; denn das kg blanken Kupferdrahtes von 0,1 mm Dicke kommt bloss auf 16 Mk. zu stehen und hat eine Länge von 14 300 m; man braucht etwa 500 g davon. Vergl. Aufwickeln mit Schnur VIII Fig. 161a.

(Fig. 215 und 216.) Den Anfang des Drahts zieht man durch die eine Endscheibe der Rolle, befestigt ihn an die Polklemme und bedeckt ihn zum Schutze gegen alle Unfälle mit aufgeleimtem Papier. In der nun folgenden Aufwickelung in derselben Richtung wie die Hauptrolle legt man die Windungen so nahe als möglich, aber ohne dass sie sich berühren, auch bleibt man von den Endscheiben 1 cm weit entfernt. Bei jeder aufgewundenen Lage kittet man die letzten

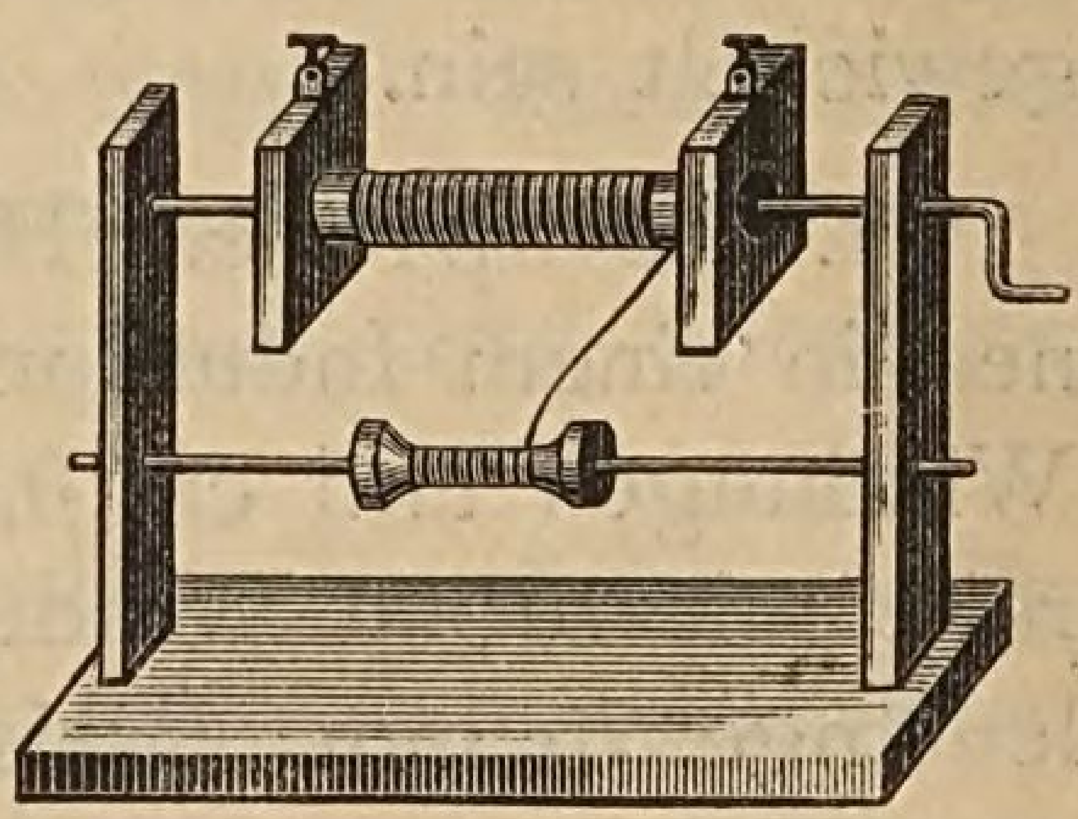


Fig. 215.

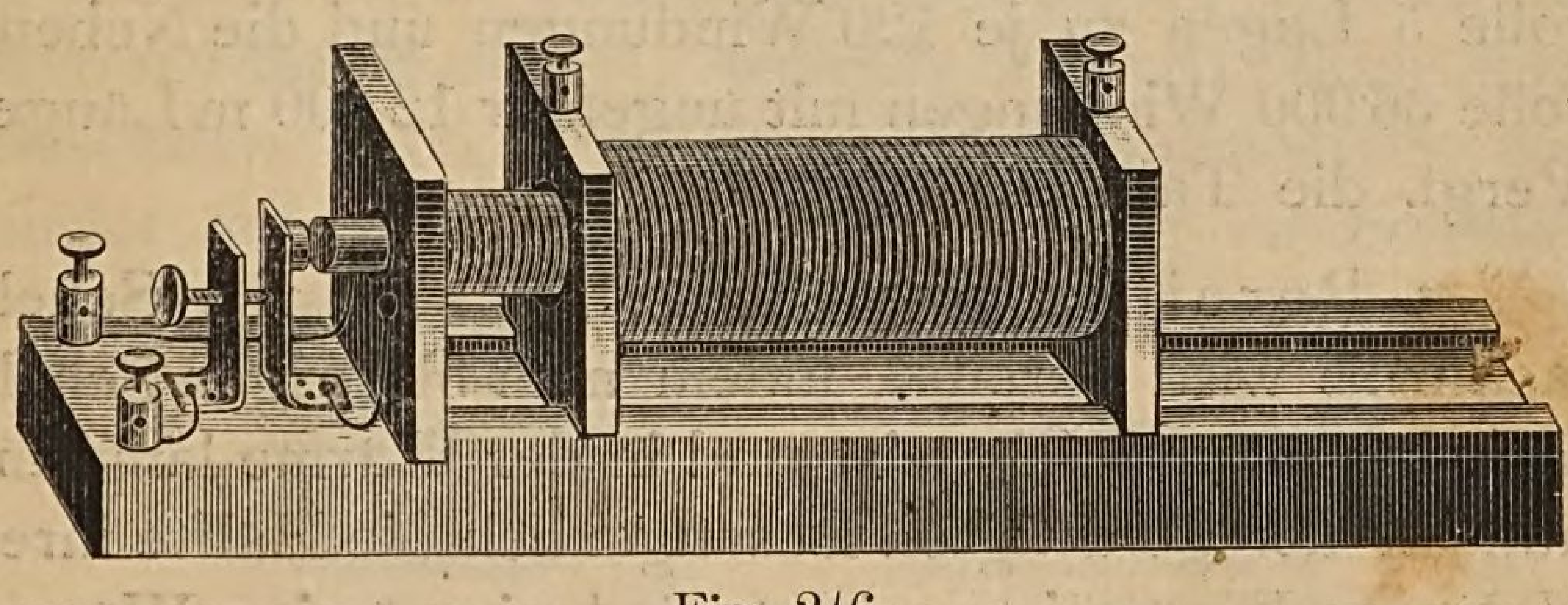


Fig. 216.

Windungen mit Wachs fest, umwickelt die ganze Lage zweimal mit paraffiniertem Seidenpapier und untersucht mit dem Galvanoskop, ob der Draht nicht gebrochen ist; über die letzte Lage windet man recht schön gleichmässig zur Parade, wie dies auch die Fabrikanten thun, eine Lage seidenumsponnenen Drahtes oder blosse Faser. Selbst wenn man doppelt seidenumsponnenen Draht aufwindet, muss man ihn durch eine dünne Schellacklösung, die sich in einem U-förmigen Gefässe befindet, ziehen und jede Lage mit einem breiten Pinsel nochmals rasch lackieren, oder mit paraffiniertem Papier bedecken. Haupt- und Nebenrolle müssen nach der gleichen Richtung gewickelt sein.

f. Beispiele. Hardtmann-Braun bezeichnen in einem Induktorium die Hauptrolle mit 460 Windungen und ca. 0,58 Ω Widerstand, die Nebenrolle mit 10 900 Windungen und ca. 2586 Ω; Spulenlänge 75 mm; Preis 80 ℳ.

Stöhrer giebt bei kleineren Apparaten den primären Rollen 4 Lagen je zu 80 Windungen und den Nebenrollen 18 400 Windungen von 0,2 mm Durchmesser; bei grösseren Apparaten hat die Hauptrolle 5 Lagen zu je 120 Windungen und die Nebenrolle 36 900 Windungen mit ungefähr 12 600 m Länge. Vergl. die Tabelle.

g. Bereitung von Schellackfirnis. Schellackfirnis wird bereitet, indem man blättrigen Schellack in gutem Weingeist und in der Wärme langsam auflöst, der gesättigten Lösung noch die Hälfte ihres Volumens Weingeist zugiesst, wieder in mässiger Wärme

oder in der Sonne auflöst und zuletzt durch feine Leinwand filtriert. Die Lösung wird durch Stehen hell.

Paraffin hat den Vorzug vor Schellack, dass es nicht spröde wird und selbst eine bessere Isolation sichert. Man legt die Papierstreifen, am besten von solchem Papier, das dem des Papiergeldes nahe kommt, dünn, ohne schwache Stellen und jedenfalls ohne Löcher ist, auf ein flaches Gefäss und auf und neben die Streifen Stückchen von Paraffin; sind sie ganz getränkt, zieht man sie mit einer Zange weg, lässt abtropfen und erkalten, was rasch geschieht. Man darf nicht durch eine untergestellte Weingeistflamme erwärmen, sondern muss das flache Gefäss auf Wasser legen und dieses erhitzen. Paraffin wird aus dem Steinkohlenteer gewonnen. Statt im Wasserbad kann man es auch im warmen Ofen vorsichtig schmelzen.

h. Der Kondensator oder Verdichter (Fig. 217 und 218). Der Extra- oder Selbstinduktionsstrom ist der erzeugenden Stromänderung entgegengesetzt und ist bestrebt, diese zu hemmen. Das Eintreten des Stromes, sein Anwachsen und Abnehmen wird also durch den Extrastrom verlangsamt; bei Stromunterbrechungen wird ein oft sehr heftig verlaufender Extrastrom induziert, welcher Funken verursacht. Besonders stark tritt der Öffnungsextrastrom und -funke auf, wenn die Leitung, in der die Selbstin-

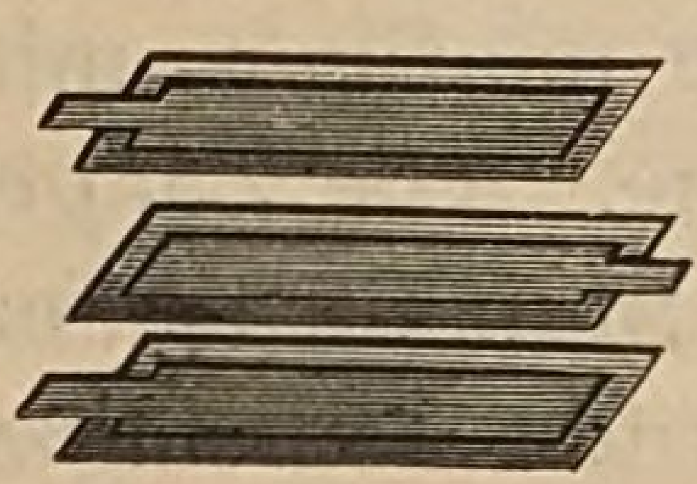


Fig. 217.

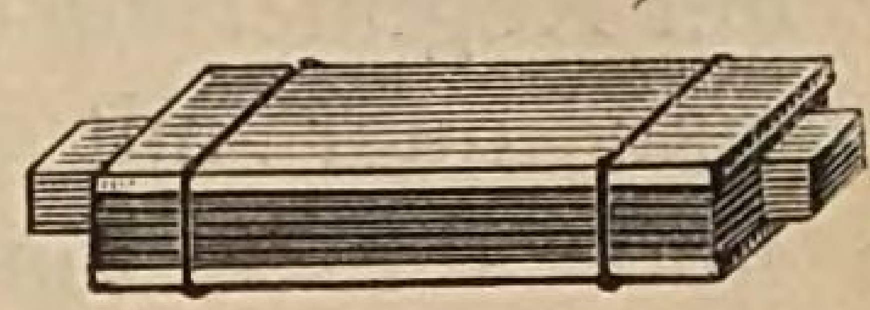


Fig. 218.

duktion stattfindet, aus vielen, eng an einander liegenden Windungen besteht und wenn sie noch einen Kern aus weichem Eisen einschliesst. (Vergleiche Gesetze des Extrastroms.) Diesen Extrastrom aufzunehmen und zu beseitigen ist der Kondensator, eine Art Leydner Flasche, bestimmt. Der Kondensator hat also den Zweck, den Verlauf der Induktionsströme zu verkürzen und so die in der Zeiteinheit hervorgerufene EMK zu steigern; er ändert aber den Summenstrom der in der Nebenrolle auftretenden Induktion nicht. Er besteht aus einem 1½ m langen, 9 cm breiten Streifen von gut gefirnisstem Wachstaffet, der auf beiden Seiten mit Stanniolstreifen von 7 cm Breite belegt und vielfach zusammengefaltet ist; zwischen zwei Lagen ist ein gefirnisstes doppeltes Papier gelegt. Vergl. Selbstinduktion und Messbrücke.

Eine zweite Form. 60 bis 100 Stanniolblätter von 20 bis 25 cm Länge und 7 cm Breite werden zwischen gefirnisste oder paraffinierte doppelte Papierblätter, die ungefähr 2 cm länger und breiter sind, gelegt, so dass abwechselnd rechts und links ein schmaler Stanniolstreifen, eine Zunge, 3 bis 4 cm über die Papiere hinausragt. Nachdem oben und unten noch paraffinierte Pappe oder Holzbrettchen gelegt sind, schnürt man das gepresste Bündel, verbindet die zusammengepressten unpaarigen Zungen mit der Hammerfeder und die paarigen mit dem Träger der Regulierungsschraube. Die Zungen umwindet man quer mit einem Stanniolstreifen und schiebt über diesen eine federnde Messingzwinge, an welche ein Kupferdraht gelötet ist.

Eine dritte Form. Man legt zwischen zwei Stanniolblätter von der gewöhnlichen Grösse des Handels ($\frac{1}{2} \times \frac{1}{3}$ m), an die man durch einen Einschnitt nach der Breite je eine Zunge anschneidet, zwei Bogen Pauspapier, die einige cm breiter und länger sind und auf das obere Stanniolblatt wieder zwei Bogen; rollt das Ganze auf eine fingerdicke Glasröhre; wickelt dann die Zungen herum und befestigt sie mit Seidenfäden. Dieser Kondensator lässt sich leicht mit kleinen Funkeninduktorien verbinden, die einen solchen nicht besitzen, und man wird finden, dass sie dann weit empfindlichere Erschütterungen geben.

Die Abmessungen eines Kondensators wählt man immer so, dass Öffnungs- und Schliessungsfunken gleich stark ausfallen. Tönt ein Kondensator, so ist er in Gefahr.

i. Elemente. Mit einer Tauchbatterie von 2 bis 3 Chromsäure-Elementen wird man zwischen den Polklemmen der Induktionsrolle knallende Funken von 15 bis 20 mm Länge erhalten.

Erscheinungen am Induktorium.

a. Licht- und Wärmeerscheinungen. Klemmt man in die Polklemmen (Fig. 209) der Induktionsrolle Drähte von 1 bis 2 mm Dicke, so scheint, wie bei einer Influenzmaschine, zwischen ihren Spitzen ein ununterbrochener, rötlicher Funkenstrom überzuspringen; er ist es aber nicht, er bildet sich bei jedem Stromschluss. Ersetzt man die negative Spitze durch eine Kugel oder eine Scheibe, so wird die Schlagweite erhöht und der Funkenstrom teilt sich in eine Anzahl Zweige, die von der Spitze ausgehen.

Lässt man den Funken durch Öl oder über fein verteilte Metalle schlagen, so nimmt er je nach der Art der Substanzen verschiedene Farben an.

Tabelle über die Dimensionen von Induktorien.

Rolle		Eisenkern		Primäre Rolle		Sekundäre Rolle		Kondensator		Elemente auf Spannung		Funkenlänge in
Länge	Durchmesser	Länge	Durchmesser	Drahtdurchm.	Lagen	Drahtdurchm.	Gewicht in	Zahl der Blätter	Länge und Breite in	Zahl	Grösse in l	
mm		mm		mm		mm	g		mm			mm
76	38	82	6,4	0,55	2	0,10	58	25	50×25	1	½	3
89	47	95	9,5	0,60	2	0,10	116	40	50×38	1	½	6
152	51	176	12,3	0,9	2	0,10	232	50	50×50	2	½	12
178	58	190	19	1,2	2	0,10	340	60	100×100	3	½	19
228	74	240	25	1,3	2	0,12	454	100	180×125	6	1	25
254	101	266	28,6	1,6	2	0,12	1362	100	230×180	6	1	50
305	152	317	32	1,6	2	0,15	3060	150	230×180	6	1	75
355	203	368	48	2,0	2	0,15	5450	200	230×230	8	1	150
300	150	306	45	2,77	3	0,12	5830	50	457×203	6	1	125

Der elektrische Funke zeichnet seine Bahn selbst, wenn man ihn zwischen zwei Stanniolspitzen, die man auf eine Glasplatte klebt und mit Papier bedeckt, überschlagen lässt, nachdem man die Platte berusst hat. Man beobachte genau den Funkenweg! Vergl. des Verfassers Spannungs-Elektricität.

Stellt man in den Funkenstrom eine dünne Hartgummiplatte, so weicht er von der geraden Linie ab und schlägt um die Platte in Zickzackform herum.

Der Induktionsstrom besteht aus einem hellleuchtenden Lichtstreifen und einer ihn umgebenden

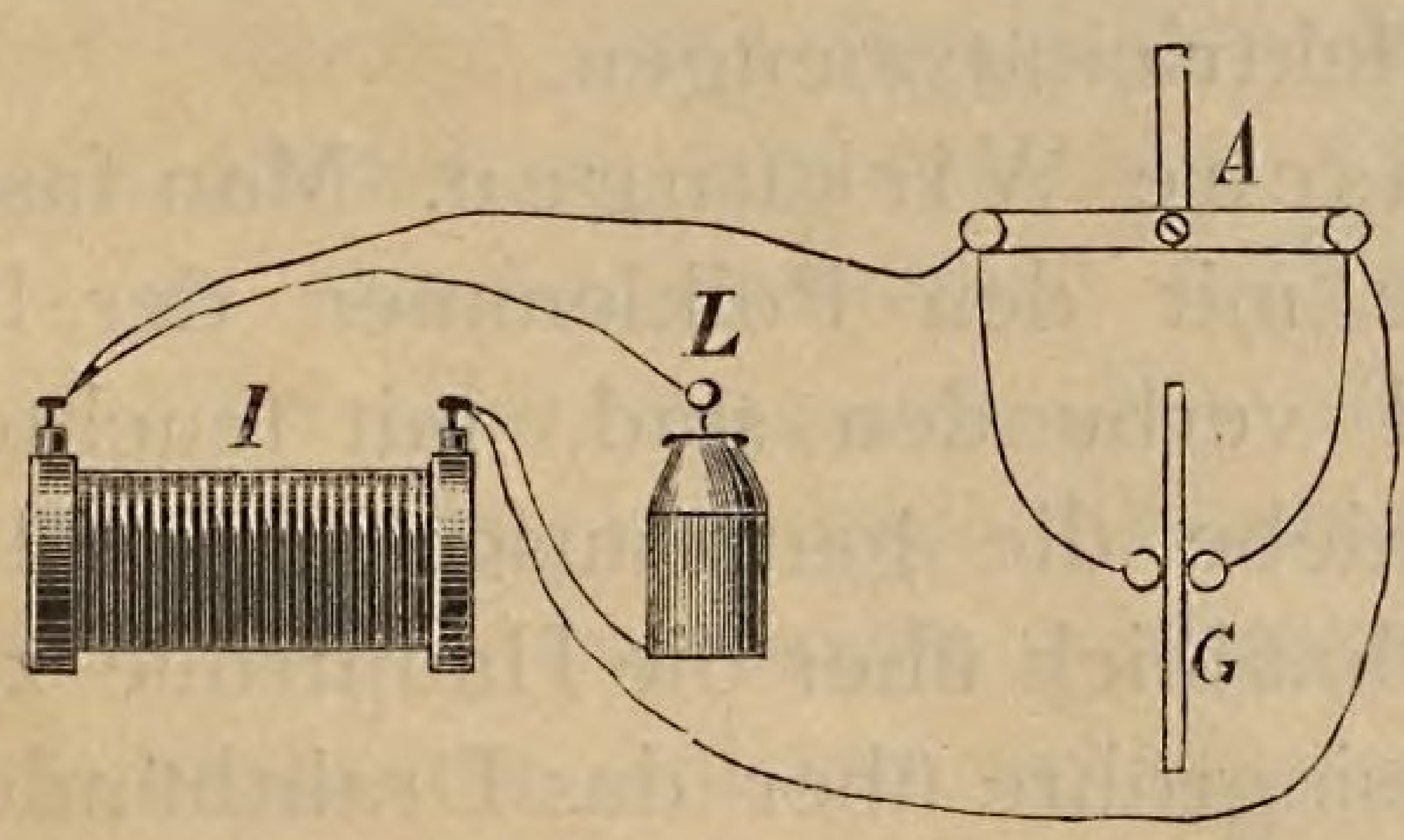
orangeroten, weniger leuchtenden Aureole (Hülle). Der Lichtstreifen erscheint im rotierenden Spiegel nur momentan, während die Aureole von längerer Dauer ist. Durch einen kräftigen Luftstrom kann man die Aureole vom Lichtstreifen wegblasen.

Der Induktionsstrom entwickelt bedeutende Wärme, weshalb er zur Entzündung von Äther, Phosphor, Schiessbaumwolle, Schiesspulver, zu Minenzündungen verwendet wird. Bringt man ein Stearinlicht gegen den Funkenstrom, so wird dieser von der Flamme angezogen, da die erhitzte, mit Kohlenteilchen erfüllte Luft ein besserer Leiter ist als die gewöhnliche Luft.

Gesetze über die Wärmeentwickelung des Induktionsstroms:

1) Die entwickelten Wärmemengen sind um so grösser; je schneller die Induktionsströme verlaufen;
2) die in gleichen Zeiten entwickelten Wärmemengen verhalten sich wie die Quadrate der Stärken der Induktionsströme.

b. Mechanische Wirkungen. Belegt man eine Papier- oder Hartgummikarte auf der einen



I = *Induktorium.*
L = *Leydner Flasche.*
A = *Auslader.*
G = *Glasscheibe.*

Fig. 219.

Seite mit Stanniol und stellt sie zwischen die Poldrähte der Induktionsrolle, so wird sie durchgeschlagen. Mit einer eingeschalteten Leydner Flasche (Fig. 219) lassen sich dicke Glasplatten durchbohren. Von jeder Polklemme der Induktionsrolle führt man zwei Drähte aus, den einen zu einem Belege der Flasche, den andern zu den von einander isolierten Entladungsdrähten des Ausladers. Die Funken werden mit der Flasche kürzer, aber blendendhell und sind von einem eigentümlichen, durchdringenden Geräusch begleitet.

Die Leydner Flasche ist bei dieser Anordnung in Nebenschluss zum Induktionsstrom geschaltet; sie ladet sich also abwechselnd mit positiver und negativer Elektricität. Schaltet man die Flasche in Hauptschluss, so hat bei genügender Entfernung der Entladungsspitze nur der Öffnungsfunke die Kraft überzuspringen und die Ladung der Flasche ist konstant. Vergl. c und Fig. 219a.

c. Chemische Wirkungen erhält man von den Induktionsfunken, da sie aus Wechselströmen bestehen, nur dann, wenn man blos die Schliessungs- oder Öffnungsströme durch den Elektrolyten gehen lässt. Gesetz. Die chemischen Wirkungen der Öffnungs- und Schliessungsströme sind gleich, denn sie liefern gleiche Elektricitätsmengen.

d. Physiologische Wirkungen. Man fasse die Handhaben, die mit den Polklemmen der Induktionsrolle leitend verbunden sind, mit feuchten Händen an und schiebe die ganz ausgezogene Induktionsrolle sehr allmählich über die Hauptrolle zurück, oder eine Messingröhre über das Drahtbündel. Auffallend ist, dass die Nerven und Muskeln schwäch-

licher Personen von den Stössen weit weniger erregt werden, als diejenigen kräftiger Personen. Sehr viel kommt darauf an, in welcher Weise der Strom auf die Organe übermittelt wird. Mit nassen Konduktoren werden die Muskeln tiefer erregt als mit trockenen, auch festeres Auflegen lässt die Elektricität tiefer eindringen als leichtes; ferner ist der jeweilige Zustand der Organe von Wichtigkeit. Der Gleichstrom scheint um die Anode beruhigend, um die Kathode aufregend zu wirken; auch dient er, um Geschwüre elektrolytisch zu zerteilen. Er wird unerträglich, wenn er mit 14 Milliampère 30 Sekunden lang wirkt.

Ein Wechselstrom von 110 V und 23 Wechseln in der Sekunde wirkt schon bei 3,7 Milliampère unangenehm; ein solcher von 85 V und 68 Wechseln bei 4,15 Milliampère; er wird für vierzigmal gefährlicher gehalten als Gleichstrom derselben Stärke. Aber bei einer gewissen Häufigkeit der Wechsel nimmt seine Gefährlichkeit wieder ab. Bei 300 000 Wechseln in der Sekunde und 7000 V konnte Testa die Pole einer Induktionsrolle schadlos berühren. Gesetze: Die physiologischen Wirkungen der Induktionsströme sind um so grösser, je kürzer ihre Dauer ist; sie sind stärker mit einem Eisenbündel in der Hauptrolle als mit einem massiven Eisenstab.

e. Induzierende Wirkungen, elektrische Resonanz. Fig. 219a. L und L′ sind zwei gleiche Leydner Flaschen; sie bestehen aus Glasflaschen von etwa 1 Liter Inhalt; von den Messingringen m und m′ an sind sie innen und aussen samt dem Boden mit Stanniol belegt; von den hohlen

oder massiven Messingkugeln c und e von 1 cm Durchmesser führen Drähte durch Kork zu den inneren Belegen; an m ist ein starker Messingstreifen

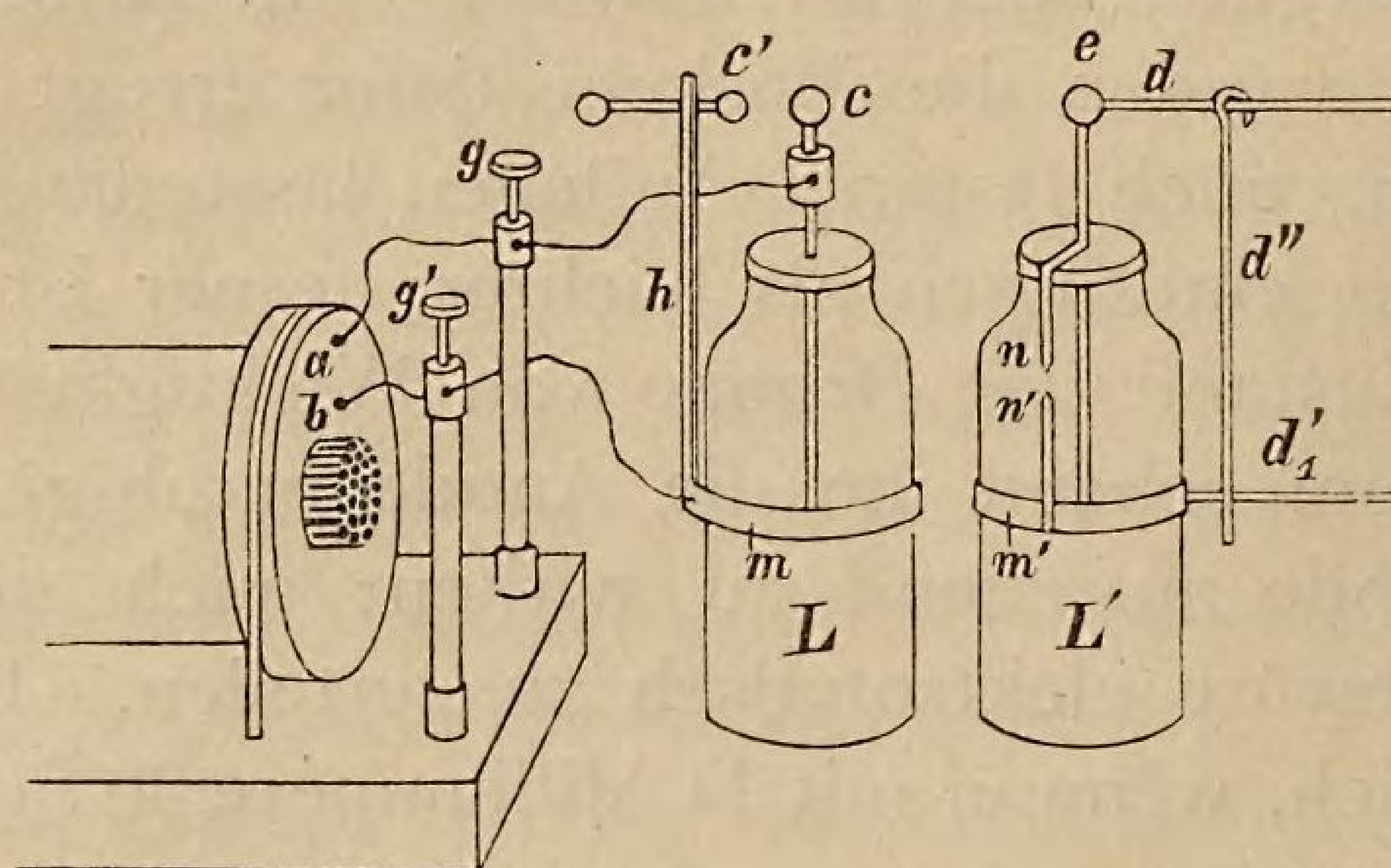


Fig. 219a.

h gelötet, durch den hindurch die Messingkugel c' (Bleikugel) der anderen c beliebig genähert werden kann. Von der Kugel e der Flasche L' geht ein 2 mm starker Messing- oder Kupferdraht d wagrecht und parallel mit d', der an m' gelötet ist; beide werden durch den verschiebbaren Draht d'' verbunden. n und n' der Flasche L' sind Stanniolstreifen, die mit den beiden Belegen in Verbindung stehen und mit ihren Spitzen 1 bis 2 mm von einander abstehen.

Die Enden der sekundären Rolle a und b des Induktoriums sind zu den Glassäulen g und g^1 geführt; g steht durch einen Kupferdraht in Verbindung mit dem inneren Belege von L und g^1 mit dem Messingring m und also auch mit dem äusseren Belege und der Entladungskugel c'.

Man stellt nun c und c' so, dass während des Ganges des Induktoriums möglichst stark knallende

Funken zwischen ihnen überspringen. In der gezeichneten Stellung übt L keine Wirkung auf L′ aus; dreht man aber die eine Flasche um eine halbe Windung, so treten bei einer gewissen, durch den Versuch zu findenden Stellung von d″ Funken zwischen n und n′ auf. Beide Flaschen sind gleichgestimmt wie zwei gleich gearbeitete Stimmgabeln; wird die eine von diesen angestrichen, so tönt die andere mit. Die in L erregten elektrischen Wellen erzeugen ähnliche Wellen in L′ und diese kündigen sich durch Funken zwischen n und n′ an. Die Elektricität beruht demnach auf einer Wellenbewegung des Äthers. Diese Versuche gelingen auch mit der Influenzmaschine.

Induktorium: Erscheinungen im gasverdünnten Raum.

a. Lichterscheinungen. Die schönsten Erscheinungen bewirkt der Induktionsstrom in den Geissler'schen Röhren. Dies sind mannigfach gestaltete, oft aus verschiedenen Glasarten zusammengesetzte, mit sehr verdünnten Gasen angefüllte Röhren, in welche Platin- oder Aluminiumdrähte zur Zuleitung des Induktionsstroms der Nebenrolle eingeschmolzen sind. Die negative Kugel erscheint von einem tiefblauen Lichte erfüllt, das durch einen dunklen Raum vom Leiter getrennt ist; von der positiven aber strömt ein Stern und ein purpurroter Lichtstreifen aus, der beinahe zur negativen Kugel reicht und in welchem man bei einem gewissen Grad der Luftverdünnung eine schwache Streifung wahrnimmt.

Ist ein Platindraht abgebrochen, so lässt sich die

Röhre doch noch gebrauchen, wenn man sie mit der Abbruchsstelle in Quecksilber taucht und in dieses einen Poldraht hält.

Bei verdünntem Stickstoffgas ist das violette Licht sehr prächtig, der übrige Teil von rosiger Farbe. Im Sauerstoff ist der Unterschied nicht so hervortretend. Im Wasserstoff ist die Entladung bläulich, im engern Teil der Röhre hochrot. Mit Kohlensäure ist das Licht merkwürdig weiss.

Bei fortgesetzter Durchleitung des Stroms bedeckt sich die Glaswand mit einem metallischen Anflug; dieser ist bläulich bei Silber-, schwärzlich bei Platinzuleitungsdrähten; eine negative Elektrode von Aluminium wird wenig korrodiert (angefressen, zernagt).

Ist über eine Geissler'sche Röhre noch eine zweite geschmolzen, in die man verschiedene Flüssigkeiten eingiessen kann, so zeigen viele davon Fluorescenz-Erscheinungen (z. B. Erdöl ist gelblich, zeigt aber blauen Schein).

Lässt man durch eine mit Edelsteinen zum Teil gefüllte Röhre den Induktionsstrom schlagen, so strahlt Rubin ein herrliches Rot, Smaragd ein Karmoisinrot, Diamant ein Grün aus. Schwefelkalcium-Pulver erglänzt nach dem Aufhören des Stromes in Blauweiss: Phosphorescenz.

b. Magnetismus und elektrische Entladungen im gasverdünnten Raume. (Fig. 220.) Bringt man die Kugel einer Geissler'schen Röhre mit dem blauen negativen Glimmlicht zwischen die nahen

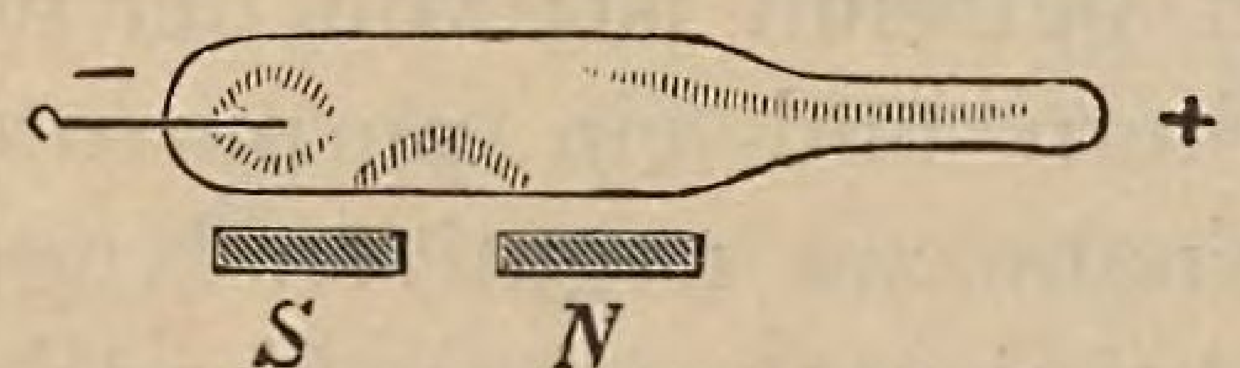


Fig. 220.

Pole eines kräftigen Elektromagneten, so bildet dieses Licht eine gekrümmte Fläche in Gestalt einer magnetischen Kurve. Das positive Licht, das fast die ganze Länge zwischen den Elektroden ausfüllt, erfährt bei nicht sehr grosser Verdünnung nur dort eine Ausbiegung, wo der Magnet genähert wird, es zeigt durch diese Ablenkung das Verhalten eines elektrischen Stromes (Fig. 221).

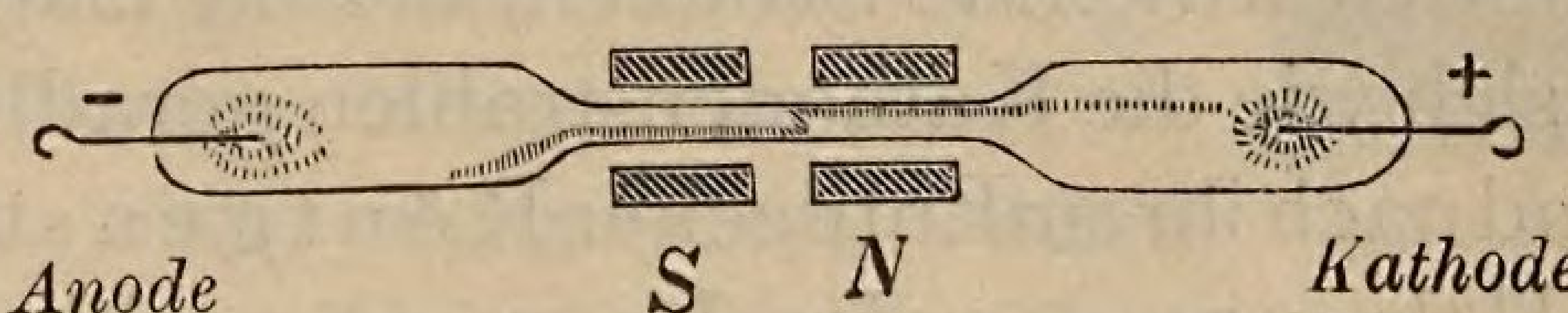


Fig. 221.

c. Kathodenstrahlen. Während in den Geissler'schen Röhren das von der Anode (+ Pol) ausgehende Licht fast die ganze Röhre erfüllt, und durch einen dunklen Raum davon getrennt, an der Kathode (— Pol) nur eine kleine strahlende Lichterscheinung auftritt, werden bei fortschreitender Verdünnung des Gases die Lichterscheinungen immer ausgeprägter; schliesslich erhält man einen von der Kathodenscheibe ausgehenden, die ganze Röhre durchdringenden Strahlenbüschel, der dort, wo er die Glaswand trifft, eine prächtige Fluorescenzerscheinung hervorbringt. Während das von der Anode ausgehende Licht sich den Windungen der Röhre anschmiegt, pflanzen sich die Kathodenstrahlen geradlinig fort. Nach H. Hertz sind die Kathodenstrahlen nicht elektrische Stromlinien, sondern Lichtstrahlen; denn in Röhren oder Glaskugeln, in denen beide Pole nahe bei einander sich befinden, erhält man Kathodenstrahlen, die bis zum andern

Ende fortgehen; wären sie elektrischer Art, so müsste der Ausgleich zwischen den beiden Polen auf dem nächsten Wege erfolgen. Durch den Magneten werden die Kathodenstrahlen abgelenkt und der grünliche Fluorescenzschimmer wandert dabei auf der Glasfläche mit.

Röntgenstrahlen. Bedeckt man die Glasröhre mit Karton oder schwarzem Tuch, so dringen durch diese von dem Fluorescenzschimmer aus unsichtbare, aber chemisch wirkende Strahlen, die die Luft durchdringen, sich wie die Kathodenstrahlen geradlinig ausbreiten und nach ihrem Entdecker Röntgenstrahlen heissen. Hält man vor den Fluorescenzschimmer die Hand und hinter diese eine eingeschlossene photographische Platte, so durchdringen die Röntgenstrahlen die Handmuskeln leichter als die Knochen und man erhält daher bei der Entwicklung der Platte ein dunkles Abbild des Knochensystems der lebenden Hand. Bei Induktorien mit 4 bis 5 cm Schlagweite dauert die Exposition etwa 1 Stunde; durch kräftigere Induktionsströme und Erwärmung der Platte kann die Aufnahmezeit auf die Hälfte gekürzt werden. Hält man die Hand zwischen Röhre und eine mit Barium-Platincyanür bestrichene Papierplatte, so werden die Knochen vor dem Papier deutlich sichtbar.

d. Alternierende (wechselnde) Entladungen in Geissler'schen Röhren. Die aufgezählten Erscheinungen rühren von einfach gerichteten Öffnungsströmen her, weil nur diese Stärke genug besitzen, um eine Entladung durch die Röhre zu bewirken. Schaltet man aber eine Leydner Flasche ein, so können abwechselnd gerichtete Ströme auftreten und das Glimmlicht erscheint an beiden Elektroden. Fig. 219.

Die alternierende n oder oscillierenden Entladungen des Induktoriums und der Leydner Flaschen lassen sich in gewöhnlicher Luft auf folgende Weise erzeugen. Fig. 221a. Durch den Batteriestrom B wird die Hauptrolle des Induktoriums J erregt, die Enden der Nebenrolle sind mit den inneren Belegen der Leydner Flaschen L und L′ verbunden, zwischen den Entladungskugeln der inneren Belege springen Funken über; die Funkenzahl wird nicht vermindert, wenn man die äusseren Belege der Flaschen durch eine Spirale SS^1 aus dickem Kupferdraht in etwa 10 Windungen verbindet; dagegen springen vom Drahte D knallende Funken nach S′ über; der Wechselstrom widerstrebt dem Eintritt in die Spirale,

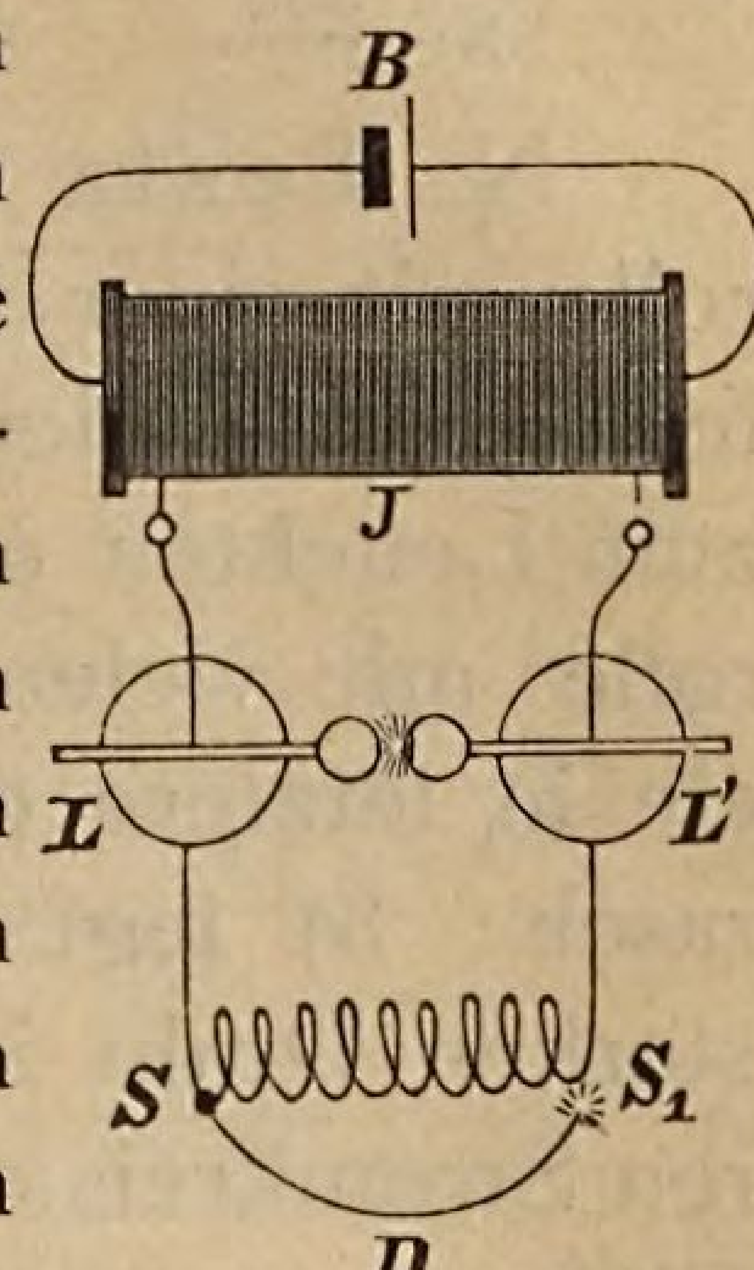
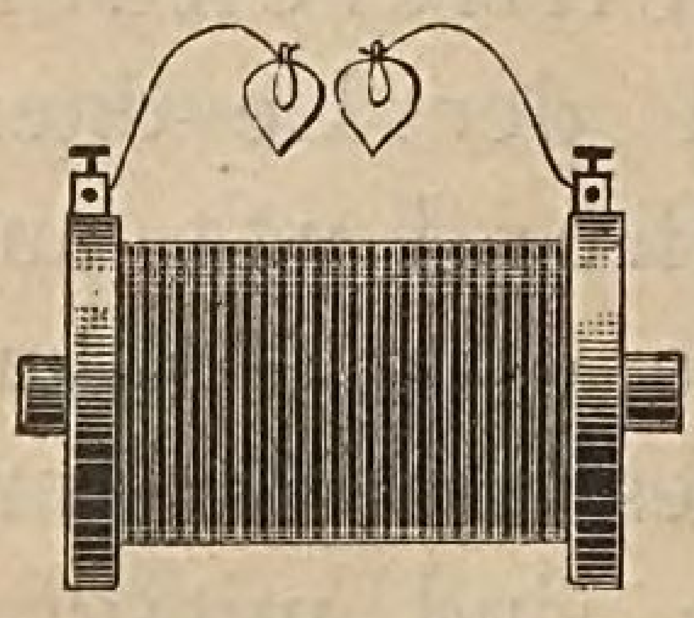


Fig. 221 a.

denn die Induktion jeder Spirale wirkt auf die benachbarte und der hieraus entstehende Selbstinduktionsstrom sucht den ersten zu vernichten. Verbindet man die äusseren Belege der Flaschen noch mit Handhaben, so verlaufen die Wechselströme so schnell, dass die Haut und die Nerven dessen, der die Handhaben hält, unempfindlich gegen die Wirkungen sind.

e. Versuche mit Glühlampen. Klemmt man in die Polklemmen der Induktionsrolle Kupferdrähte von 1,5 mm Dicke und biegt sie so aufwärts, dass man an die angebogenen Haken kleine Glühlampen mit einer Platinschleife anhängen kann, ohne dass sie sich berühren, so ziehen sich diese Lampen


Fgı. 222.

während des Spieles des Induktoriums an (Fig. 222). Hängt man blos eine Lampe auf und leitet den andern Pol ab, so zeigt sich ein Lichtschimmer in der Lampe. Diese schönen Versuche können mannigfach abgeändert werden.

N. Tesla verbindet den einen Pol der Nebenrolle mit einer isolierten Metallplatte 1) durch eine feine Platin- oder Messingdrahtspirale und bringt diese zum Leuchten oder Schmelzen; 2) durch eine Drahtrolle mit vielen feinen isolierten Drahtwindungen; ein in letztere eingeführter Eisendraht erwärmt sich rasch; 3) legt um die Rolle in Nro. 2 noch einen starken Draht in wenig Windungen; eine im letzteren Stromkreis eingeschaltete Glühlampe kommt zum Glühen.

f. Barometrische Luftverdünnung. Wie schon bei den Glühlampen Fig. 129 angegeben, lässt sich mit einer 1 m langen Glasröhre mittels Quecksilber ein sehr luftverdünnter Raum herstellen. Der Induktionsstrom wird in diesem Falle durch das Quecksilber und den durch den Kork geführten Kupferdraht geleitet. Mit verdünnter Luft erscheint der Raum rosaviolett; weiss, wenn man von unten etwas Wasserstoff einführt, orange mit Stickstoff, grünlich mit Kohlensäure, rot mit Chlorwasserstoff.

g. Elektrische Sterne. Befestigt man eine kleine Geissler'sche Röhre auf einem Elektromotor so, dass der Induktionsstrom ihr während der Umdrehung zugeführt wird, so beobachtet man sehr schöne Sterne.

Auch mit einer mechanischen Vorrichtung (Fig. 222a) lassen sich elektrische Sterne darstellen. Die Höhe des Apparates richtet sich nach der Länge der Geissler-schen Röhre, die man mit Vorsicht auf das rotierende Holzbrettchen aufbindet. Die Pole der Röhre sind leitend mit Rohrstücken verbunden, die isoliert auf die Achse geschoben sind; der eine Zuleitungsdraht muss isoliert unter dem linken Rohrstück zum rechten geführt werden. Die Metallfedern, die auf den Rohrstücken schleifen, führen den Induktionsstrom zu. Indem man die Schraube des Selbstunterbrechers mehr oder weniger dem Platinplättchen nähert, ändert man die Zahl der Stromschlüsse. Wenn die Röhre in der Sekunde 20 Umdrehungen macht und in dieser Zeit 19 Stromschlüsse eintreten, so erscheinen die Sterne vorwärtsläufig; folgen sich aber bei gleicher Umdrehungszahl 21 Stromschlüsse, so erscheinen die Sterne rückläufig.

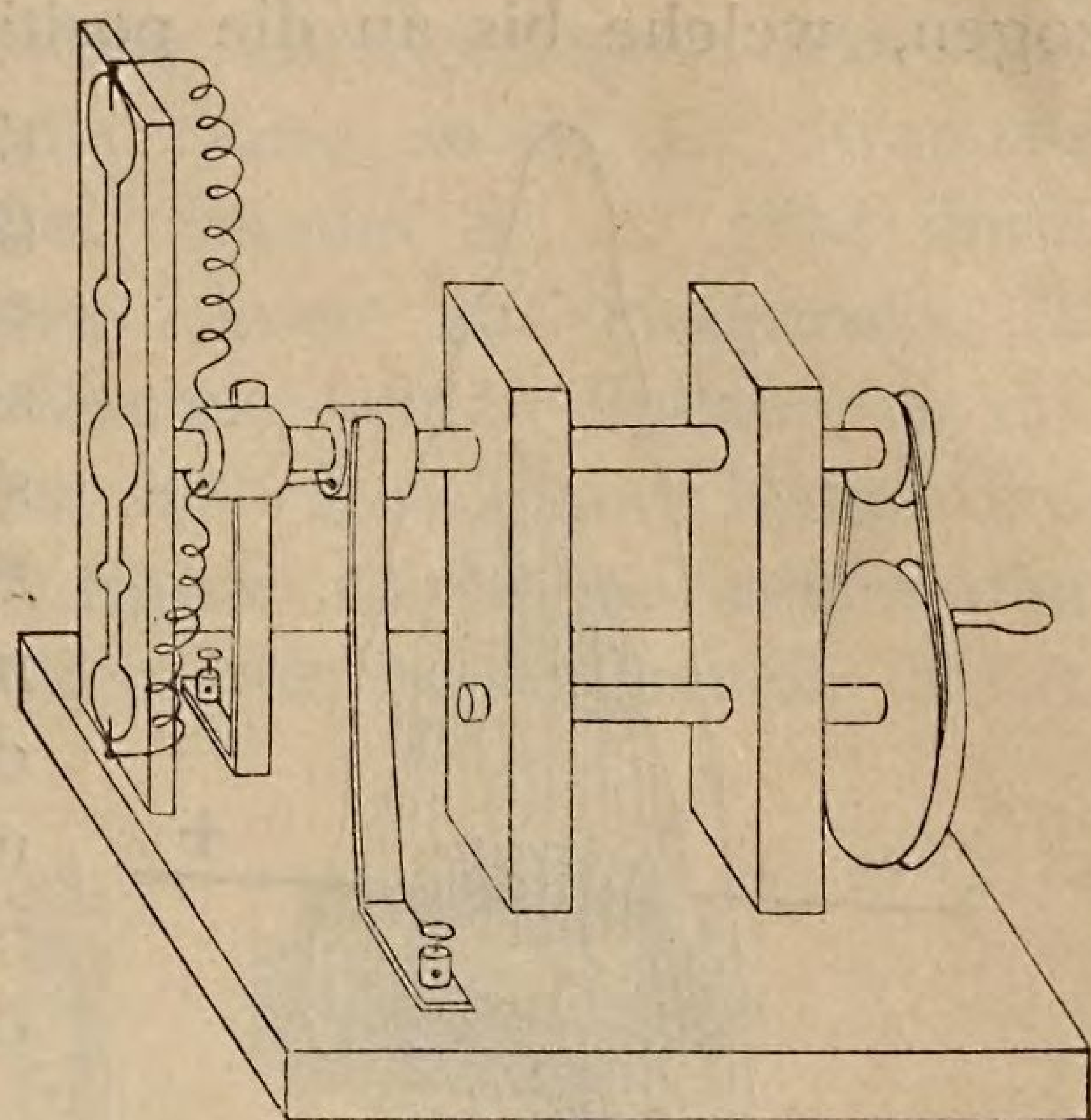


Fig. 222a.

h. Funken und Lichthülle. Lässt man die Entladung des Induktoriums in einer Kerzenflamme übergehen, so erscheint bei langsamem Gange des Selbstunterbrechers des induzierenden Stromes eine

in blendendem Weiss auftretende Entladung, in welcher der helle Entladungsfunken nicht zu erkennen ist. Sie ist von transversalen dunklen Schichten durchzogen, welche bis an die positive Elektrode herangehen, von der negativen aber durch einen dunklen Zwischenraum getrennt sind. An der negativen Elektrode kann man in diesem Falle das blaue Glimmlicht nicht sehen; dieselbe ist mit lebhaft glühendem Russ bedeckt.

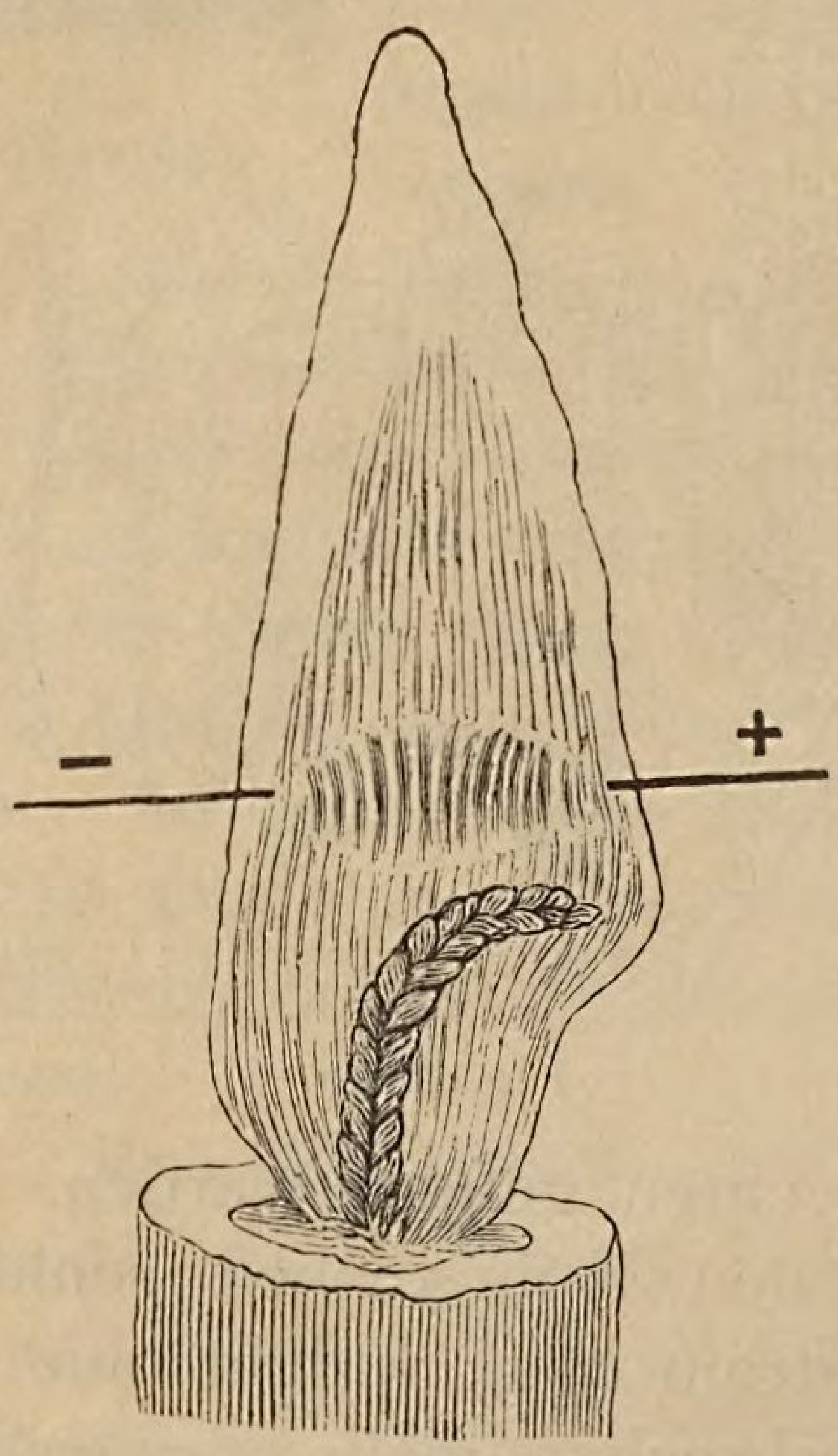


Fig. 222b.

Bei Beobachtung der Flamme durch eine mit radialen Schnitten versehene, rotierende Pappscheibe (Kundt 1866) erscheint sie oberhalb des Funkens aus abwechselnd hellen und dunklen Schichten gebildet, die in der Richtung des Funkens als dunkle Kreise auftreten.

Sehr deutlich erscheinen die Schichten der Funken, wenn man diese in einer russenden Flamme von Terpentinöl übergehen lässt.

Induktorium; Unterbrecher von Helmholtz*, Anwendungen der Induktionsrollen.

a. Der Unterbrecher von Helmholtz

*) Helmholtz 1821—1894.

(Fig. 223) hat eine zweite Regulierungsschraube S′, wodurch bezweckt wird, dass der Batteriestrom nie unterbrochen wird und Öffnungs- und Schliessungsströme annähernd gleiche, aber geringere Stärke erreichen. Berührt S die Feder, so ist der Stromlauf derselbe wie ohne den Ständer S′; er geht durch die voll ausgezogenen Linien zur Hauptrolle H; schwebt die Feder zwischen beiden Spitzen, so cirkuliert der Strom über m — S — M zur Hauptrolle; berührt die Feder die Spitze von S′, so stehen dem Strome zwei Wege offen: der kurze über d — S′ — n

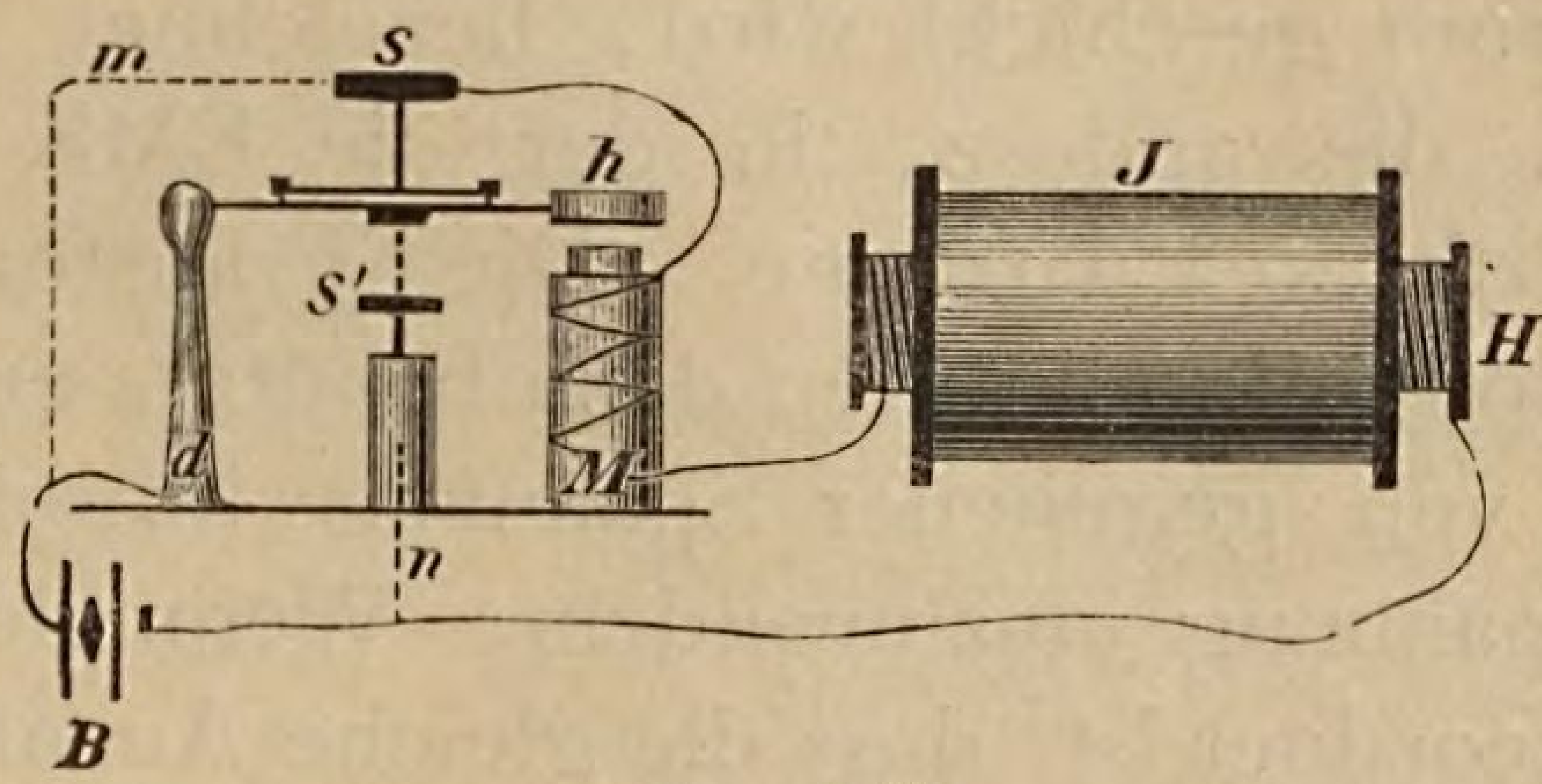


Fig. 223.

und der lange über m — S — M, der grösste Teil des Stromes geht den kurzen Weg, da er hier wenig Widerstand findet, und nur ein kleiner Teil fliesst durch die Windungen des Elektromagneten M, da hier der Widerstand bedeutend grösser ist.

Der Hauptstrom wird also nie unterbrochen, nur seine Zu- und Abnahme erregt Induktionsströme und da Öffnungs- und Schliessungsextraströme durch die Hauptrolle fliessen, werden beide Ströme annähernd gleich, dafür aber beide schwächer.

b. Die Induktionsrollen finden ihre Verwendung:

1) In den eben beschriebenen Induktorien.

2) Zum Anzünden von Gasflammen; siehe auch

Selbstinduktionsapparate. Lässt man die Funken einer sekundären Induktionsrolle durch eine Reihe von Gasflammen schlagen, so können diese gleichzeitig angezündet werden.

3) Bei den im Folgenden näher erklärten Mikrophonen werden wir zur Weiterleitung des Schalles eine kleine Induktionsrolle finden.

4) Ein Transformator ist ein Induktorium der Praxis, in dem die beiden Spulen gleiches Gewicht haben und in der Regel neben einander gewickelt sind. Diejenige Spule, durch welche der Wechselstrom geschickt wird, bezeichnet man als primäre, die andere, in der die EMK erzeugt wird, als die sekundäre. Die Transformatoren werden wie die Induktorien dazu benützt, um Wechselströme von gegebener Spannung in solche von anderer Spannung umzuwandeln. Wenn der Apparat so angeordnet ist, dass die gleiche Anzahl Kraftlinien beide Spulen durchsetzt, so muss die induzierte EMK der Windungszahl jeder Spule proportional sein.

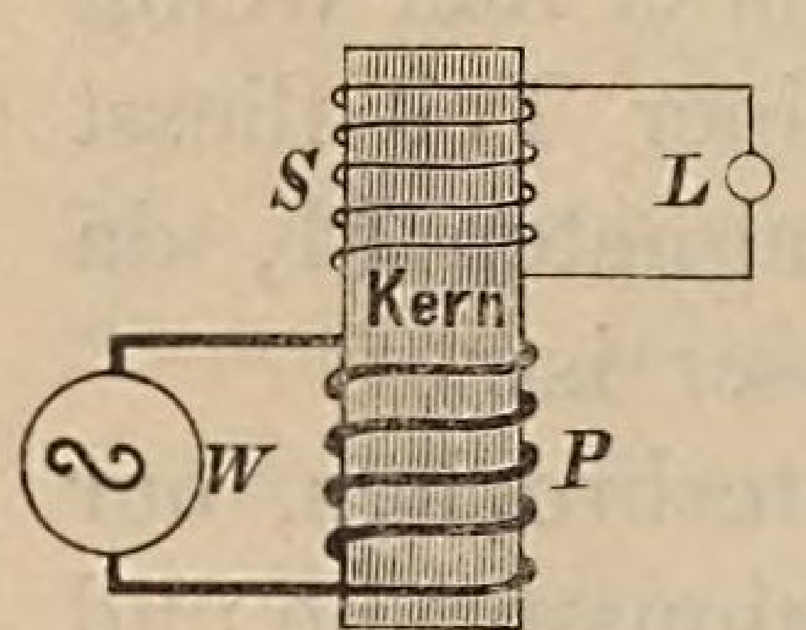


Fig. 223a.

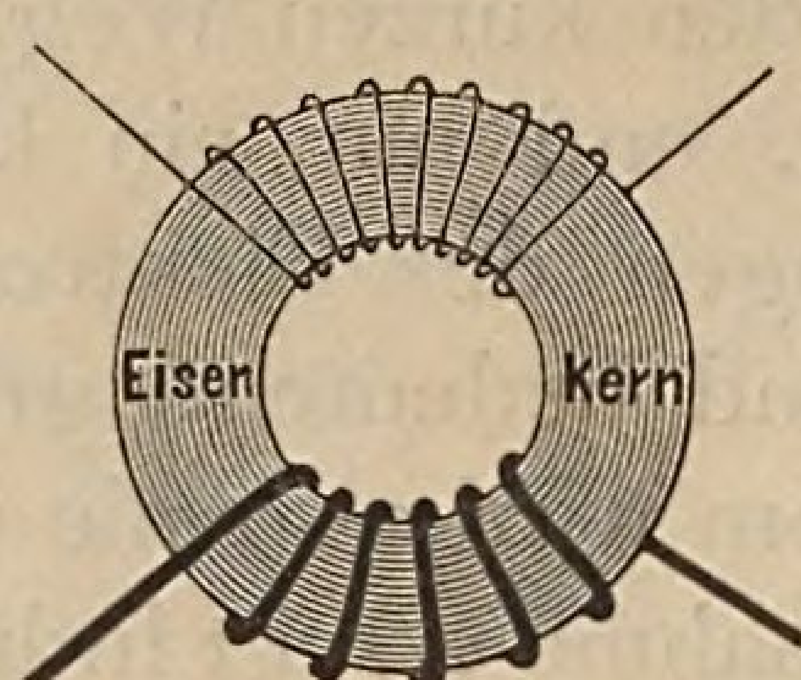


Fig. 223b.

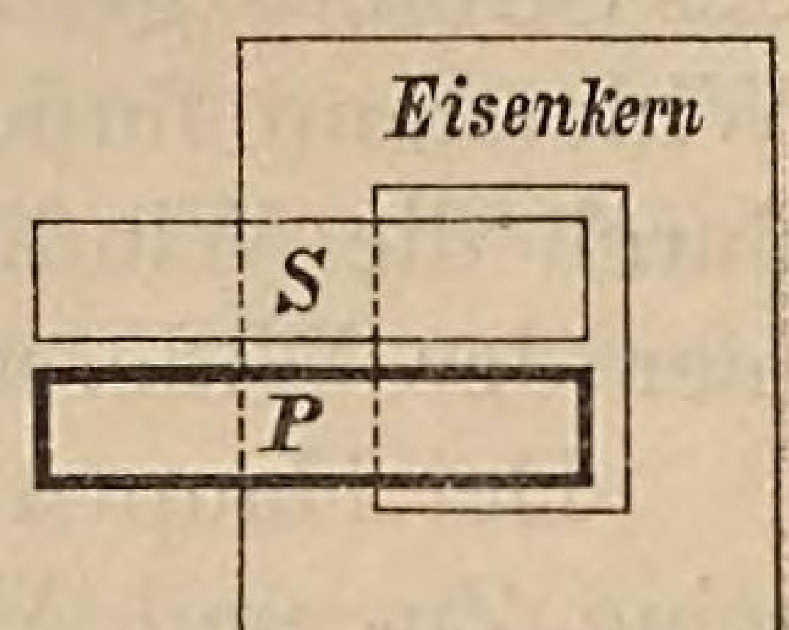


Fig. 223c.

In Fig. 223a stellt W eine Wechselstrommaschine (z. B. den Inversor von Poggendorf in Verbindung mit einer starken Batterie) vor, welche die primäre Spule P mit Strom versorgt, während die Lampe L

von der sekundären Spule gespeist wird; beide Spulen sind magnetisch durch den beblätterten Eisenkern verbunden. Indessen durchsetzen nicht alle Kraftlinien, die in der primären Spule erzeugt werden, auch die sekundäre Spule. Denn 1) treten Kraftlinien an den Seitenflächen des Kernes aus (Fig. 92a); 2) wird die magnetische Wirkung dadurch geschwächt, dass die magnetische Wirkung der sekundären Spulen derjenigen der primären entgegengesetzt ist (Fig. 202) und 3) besteht der magnetische Stromkreis aus Eisen und Luft (Fig. 92a).

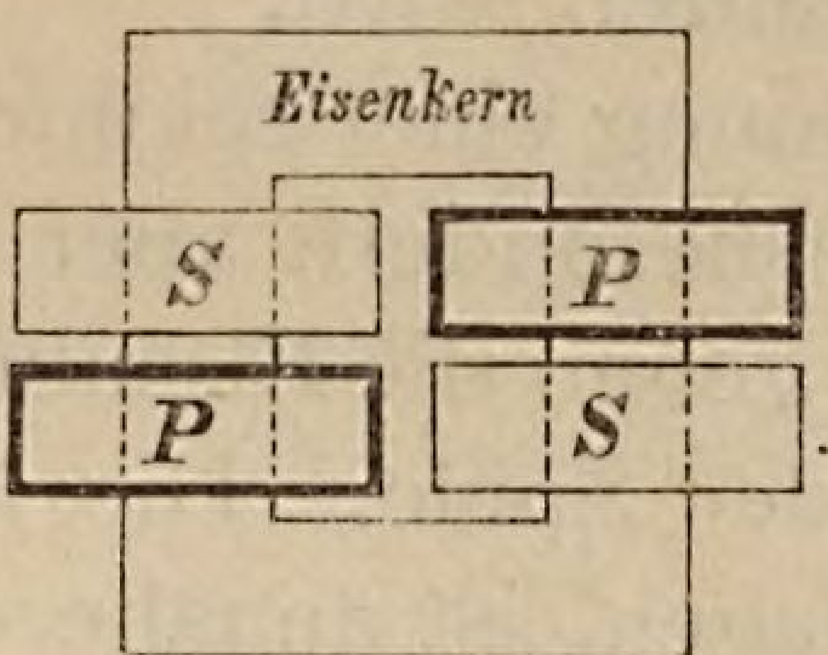


Fig. 223d.

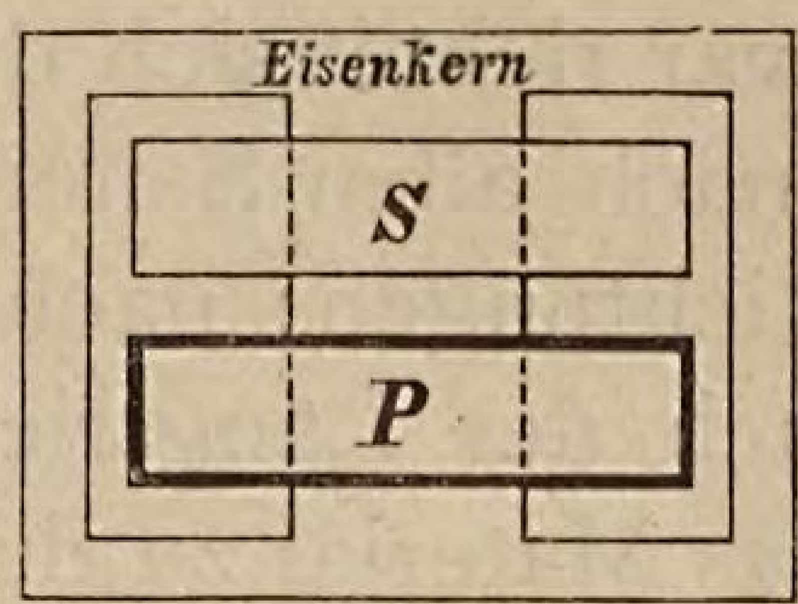


Fig. 223e.

Letzterem Übelstande wird durch pollose Eisenkerne abgeholfen, Fig. 223b bis e. Fig. 223b, c. d sind Ringtransformatoren und Fig. 223e ein Manteltransformator. Die Ringtransformatoren enthalten weniger Kupfer, der Manteltransformator jedoch weniger Eisen bei gleichen Wirkungen.

Die magnetisierenden Kräfte sind den Ampèrewindungen beider Spulen proportional, während die resultierende Magnetisierung oder die Zahl der Kraftlinien, welche beide Spulen durchsetzen, von der Art des Zusammenwirkens beider Spulen abhängig ist. Das Verhältnis der Übersetzung der Spannungen hängt von dem Verhältnis der Windungszahlen bei-

der Spulen ab; hat die sekundäre Spule die doppelte Anzahl Windungen gegen die primäre, so wird die in der primären Spule herrschende Spannung verdoppelt. Vergl. Voltzahl der induzierten Spule in Induktorien und Gesetze der Induktion.

Grosse Induktorien.

Fig. 224. Die Anfertigung grösserer Induktionsrollen als die in der Tabelle angegebenen erfordert sehr bedeutende Übung und Geschicklichkeit und ist somit die Sache des Mechanikers. Doch wollen wir wenigstens andeuten, wie verfahren wird.

Zwar richtet sich die Spannung einer sekundären Rolle nach allen Seiten hin, insbesondere aber nach zwei Richtungen: nach innen gegen die Eisenbündel und nach der Längsrichtung der Spule. Die Neigung, das Material zu durchschlagen, ist annäherungsweise proportional dem Quadrat der vorhandenen Voltzahl.

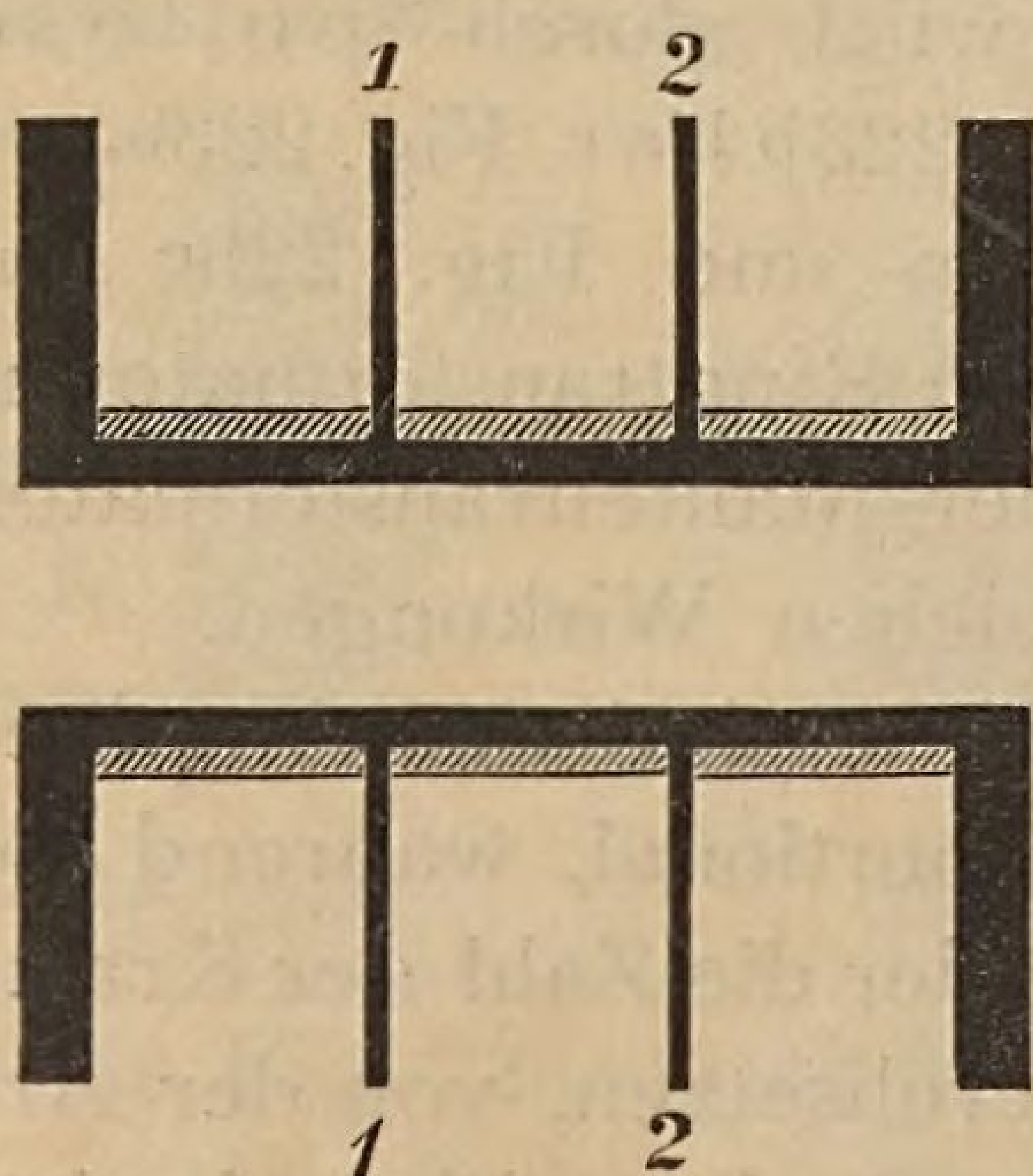


Fig. 224.

Um ein Durchschlagen nach innen zu verhindern, fertigt man die Rolle ganz aus Hartgummi, wählt die Wanddicke der Röhre 5 bis 10 mm und die Dicke der Endscheiben von 20 mm an. Auch Holz, scharf getrocknet und hierauf in geschmolzenem reinen Paraffin durchtränkt, ist ein guter Isolator.

Um ein Durchschlagen von Draht zu Draht nach der Längsrichtung unmöglich

zu machen, teilt man die Rolle durch Hartgummischeiben oder durch paraffinierte, aus mehreren Papierlagen zusammengesetzte Scheiben in mehrere, gewöhnlich ungradzahlige Abteilungen.

Man wickelt um die Ebonitrolle einen Cylinder aus paraffiniertem Papier, schiebt die Scheibe daran; wickelt wieder einen Cylinder und schiebt wieder die Scheibe daran; dann setzt man die zweite Endscheibe an und verkittet sorgfältig mit flüssigem Paraffin.

Nach dem Trocknen steckt man den Anfang des Drahtes, der sich aber in der Regel leicht verzwirbelt und darum mässig gespannt gehalten werden muss, durch eine Endscheibe am Grunde und hat etwa 50 mm Raum zwischen Endscheibe und 1, dann wickelt man die erste linke Rolle mit aller Sorgfalt und zwischengelegtem paraffinierten Papier, schneidet ab und befestigt an der Polklemme der Endscheibe.

Sodann lötet man wieder an das durch 1 hindurch geschobene Stück mit Harz, umwickelt die Lötstelle mit weicher Seide und paraffiniertem Papier und wickelt die zweite Rolle nach der entgegengesetzten Seite wie vorher und befestigt das abgeschnittene Stück vorläufig mit Paraffin.

Die dritte Abteilung wickelt man wieder wie die erste; man führt den Draht durch eine Bohrung am Grunde der rechten Endscheibe, füllt auf, verlötet das Ende mit dem vorläufig befestigten Ende der zweiten Abteilung und führt das durch die Endscheibe gezogene Stück zur zweiten Polklemme.

Bei noch grösseren Induktorien werden die einzelnen Abteilungen auf der Drehbank gewickelt und fertig auf die Rolle geschoben.

Gassiot's Induktorium: Kern 46 cm lang und 4,4 cm dick; Draht der Hauptrolle 46 m lang, 3,8 mm dick, mit Guttapercha überzogen, 3 Lagen; Nebenrolle 3 Abteilungen von je 127 mm Durchmesser und 25 mm Breite; mittlere Abteilung Draht von 0,23 mm Dicke und 6858 m Länge; die beiden anderen Abteilungen Draht von 0,2 mm und 7800 m Länge; 3 Kondensatoren von 465, 930 und 1395 dm^2 Belegungsfläche, Verwendung einzeln oder zusammen. Jede Abteilung giebt mit 5 Bunsen-Elementen Funken von 12 cm Länge, die ganze Spirale von 30 cm.

Siemens' & Halske's Induktorien: Kern aus Eisendrähten von 1,3 mm Dicke und 95 cm Länge, zusammen ein Cylinder von 6 cm Durchmesser; Hauptrolle 2 Lagen von 2,5 mm Draht; Kern und Hauptrolle wiegen 16 kg; Ebonitrohr von 1,2 cm Wanddicke, Endscheiben 2,6 cm dick; Nebenrolle mit 15 Abteilungen; Draht 0,14 mm dick; 10755 m, Windungen 299198, Gewicht 26,33 kg, Widerstand 155000 Ω; mit 6 Grove-Elementen Funken von 30 bis 60 cm Länge.

Induktorium von Keiser & Schmidt. Primärer Draht 75 m mit 0,35 Ω Widerstand; sekundäre Wicklung 156000 m mit etwa 100000 Ω Widerstand in 17 Abteilungen; Isolierung unter sich durch mehrere Scheiben und gegen den Eisenkern durch Hartgummirohre; Kapacität des Kondensators 3,5 Mikrofarad und 120 m^2 Gesamtoberfläche; 40 kg Gewicht; Funkenlänge 1 m, etwa 150000 V Spannung; 16 Accumulatoren mit 5,6 Amp. zum Betrieb.

Mit dem rotierenden Unterbrecher wird man

dem Induktorium die Form eines Transformators mit geschlossenem Ring geben, der Wicklung wegen in Dreiecksform, wobei die Hauptrollen auf eine Seite und die beiden Nebenrollen auf die andern Seiten kommen.

Die Electricitätsquelle ist nach der Hauptrolle des Induktoriums zu wählen. Bei geringem Widerstand der Hauptrolle, also bei dickem Draht, soll die Batterie von geringem inneren Widerstand (grossplattig) sein; bei hohem Widerstand der Hauptrolle, also bei dünnem Draht in vielen Windungen, ist die hohe EMK vieler hintereinander geschalteter Elemente erforderlich. Bei langdauernden Versuchen muss die Batterie konstanten Strom liefern. Bei grossen Induktorien schaltet man die zahlreichen Elemente in zwei Teilen parallel. Die Wirkung der Hauptrolle ist durch die Zahl ihrer „Ampère-Windungen“ bedingt.

Mögliche Fehler eines Induktoriums.

Ein Induktorium kann infolge von eingedrungenem Dampf verminderte Funken geben; man löse dann die Rollen, erwärme sie und tauche sie solange in geschmolzenes Paraffin, bis keine Blasen mehr aufsteigen.

Der verminderten Funkenlänge könnte indessen inneres Funkengeben zu Grunde liegen; in diesem Falle wird Eintauchen in geschmolzenes Paraffin nur selten helfen; man wird daher die Nebenrolle abwickeln und genau untersuchen müsen. Dieses Abwickeln ist aber meist nur möglich, wenn mit

Paraffin isoliert worden ist. Man lässt nach Reparatur des Fehlers den Draht durch geschmolzenes Paraffin laufen.

Da die feinen Enden der Nebenrolle leicht abbrechen, thut man wohl daran, diese Enden aus dickerem Draht zu nehmen, einige Windungen davon umzulegen und den feinen Draht daran zu löten.

Vermindern sich die Funken der Nebenrolle und vermehren sich die der Hauptrolle, so ist wahrscheinlich der Kondensator durchbrochen. Man nehme ihn also heraus und beseitige die beschädigten isolierenden Blätter.

Mit der Zeit wird das Platinplättchen des Hammers durchgeschlagen und durchgebrannt; man drehe also den Träger etwas, so dass eine neue Stelle des Plättchens getroffen wird.

Nicht selten sind die Schrauben nicht vollkommen angezogen und die darunter gelegten Drähte liegen nur locker an; man wird also hier zuerst nachsehen. Ankaufspreise mit Stromwender: Funkenlänge 2,5 cm 95 M; 4,5 cm 160 M; 8 cm 240 M; 15 cm 380 M; 25 cm 550 M.

Entladungsspannungen in Volt = V.

Bei gleichen Kugelelektroden vom Radius r cm und der Schlagweite S cm. Barometerstand 745 mm; Temperatur 18° C.

r = 2,5 cm		r = 1,0 cm		r = 0,5 cm		r = 0,25 cm	
S cm	V	S cm	V	S cm	V	S cm	V
0,5	18400	0,1	4700	0,1	4800	0,1	4800
0,625	22300	0,2	8100	0,2	8400	0,2	8400
0,75	26100	0,3	11400	0,3	11400	0,3	11300
0,875	29500	0,4	14500	0,4	14500	0,4	13800
1,0	32800	0,5	17500	0,5	17300	0,5	15700
1,125	36300	0,6	20400	0,6	19900	0,6	17200
1,25	39700	0,7	23200	0,7	22000	0,7	18300
1,375	43200	0,8	26000	0,8	24100	0,8	19000
1,5	46200	1,0	31300	0,9	25600	1,0	20200
1,6	48700	1,2	35500	1,0	27000	1,5	22300
		1,4	38600	1,5	31800	2,0	23200
		1,6	41300			3,0	24300
		2,0	47500			4,0	24900
						6,0	25700

Kapitel XI.

Telephon und Mikrophon.

Keine Erfindung in der Elektricität hat sich so schnell verbreitet als der Fernsprecher oder das Telephon, erfunden 1862 von Ph. Reis. Immer noch ist die ihm von Graham Bell 1876 gegebene Form die einfachste und wir beschreiben daher, wie ein solches anzufertigen ist.

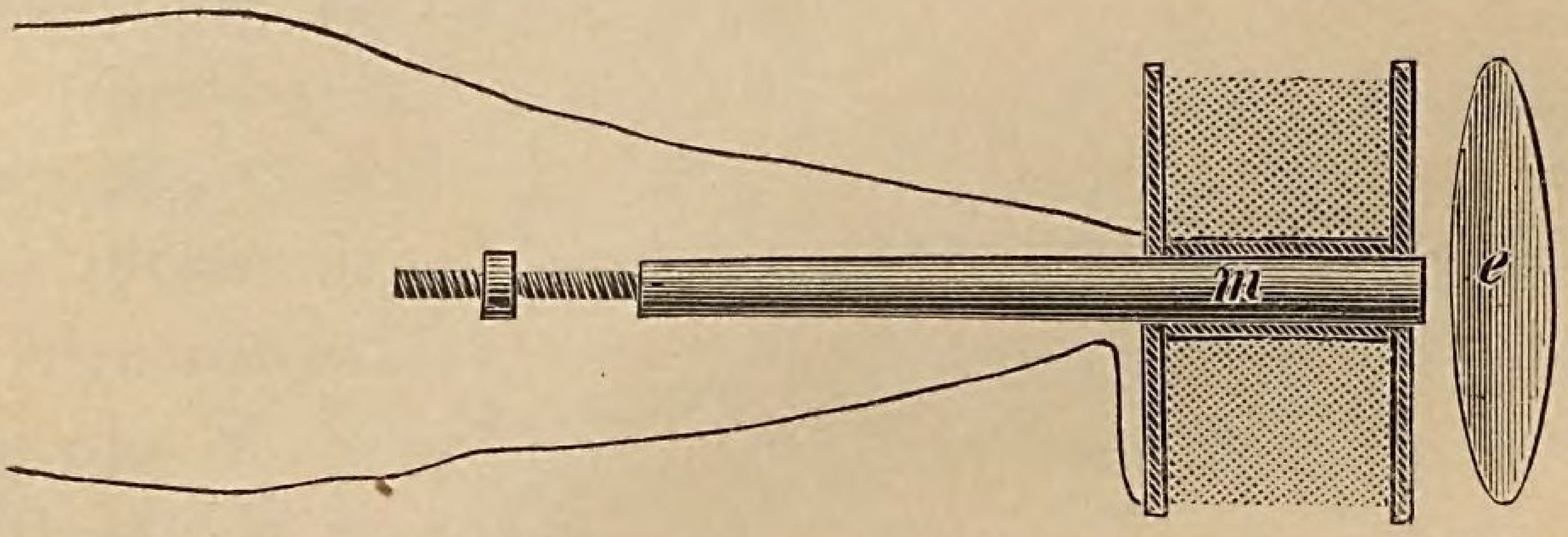


Fig. 225.

a. Ein Versuch. (Fig. 225.) Man magnetisiere einen gehärteten Rundstahl von 10 bis 12 cm Länge und 1 cm Dicke in einer kräftig erregten, dickdrahtigen Rolle oder mittels eines Elektromagneten, schiebe über sein eines Ende eine kleine Holz- oder Kartonrolle von 2 cm Länge, die mit seidenübersponnenem Kupferdraht von 0,1 bis 0,2 mm Dicke und von 50 bis 60 m Länge aufgefüllt ist und verbinde die Enden dieses Drahtes mit den Klemmen

eines fernstehenden Multiplikators; so oft man nun eine Eisenplatte demjenigen Pol des Magneten, über den die Rolle gesteckt ist, nähert, zeigt die Galvanometernadel durch ihren Ausschlag einen elektrischen Strom an, der beim Entfernen die entgegengesetzte Richtung hat: Entfernen und Nähern der

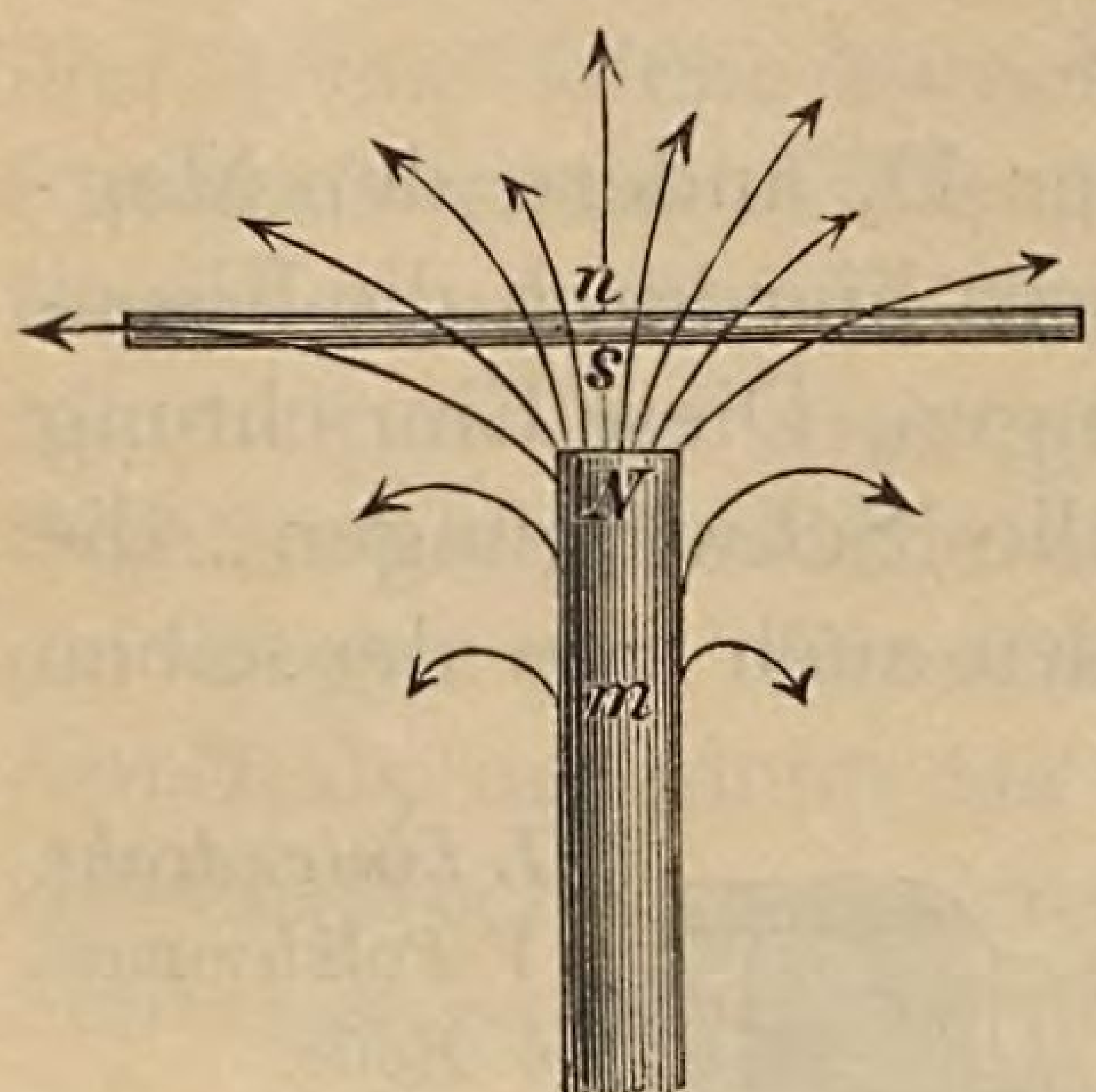


Fig. 226.

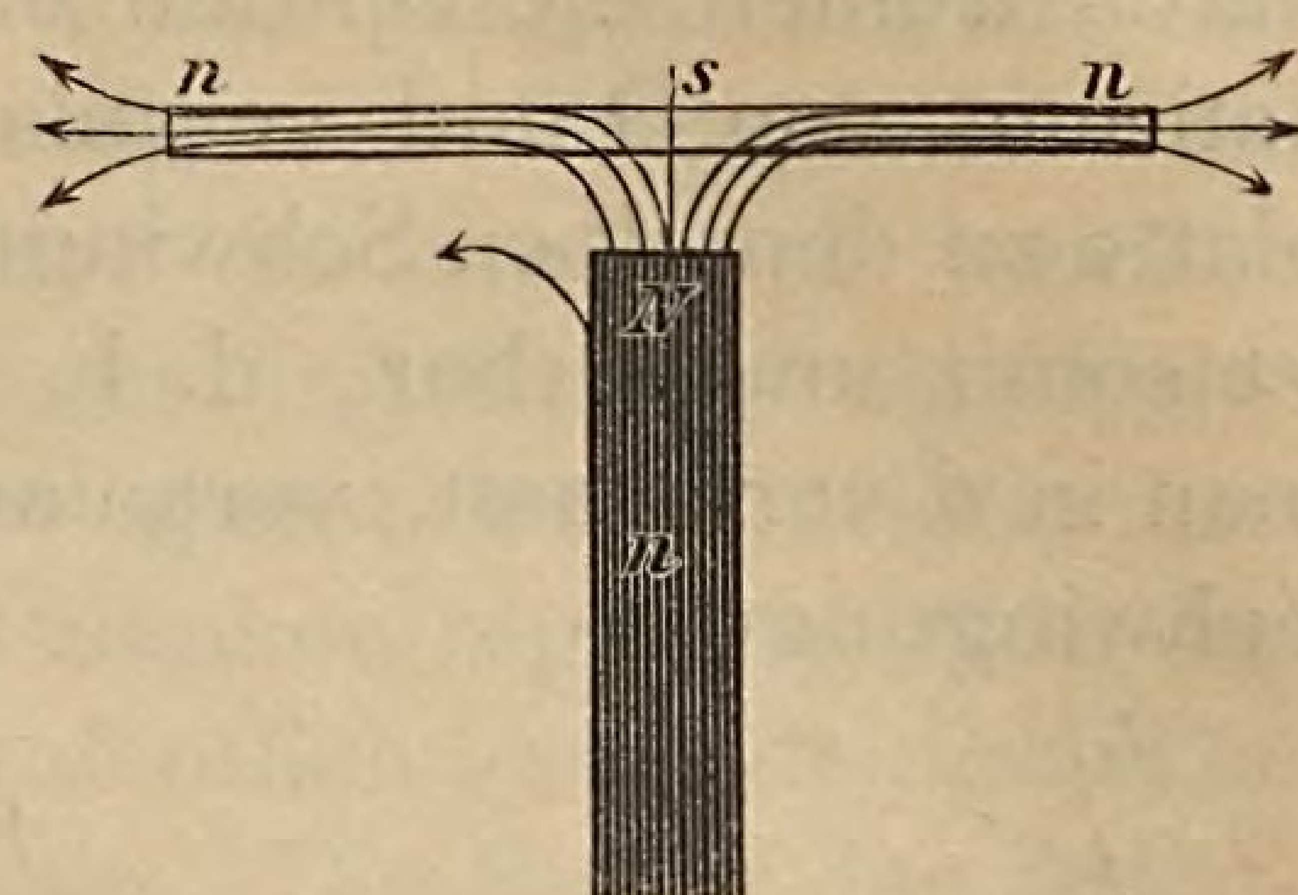


Fig. 227.

Platten erzeugen somit Wechselströme in der kleinen Induktionsrolle oder mit andern Worten: die Eisenplatte durchschneidet die vom Pol ausstrahlenden Kraftlinien, Fig. 226, nimmt sie teilweise in sich auf, ändert so das magnetische Feld des Pols und jede Änderung in einem magnetischen Felde ruft elektromotorische Kräfte hervor, deren Richtung mit der Richtungsänderung der Eisenplatte wechselt. (Fig. 226 u. 227.)

b. Anwendung des Versuchs. (Fig. 228.) Wird eine Eisenplatte c einem Magneten C gegenüber in Schwingungen versetzt, so tritt abwechselnd eine Stärkung und Schwächung des letzteren ein; in der ihn umgebenden Spirale entstehen Induktionsströme, diese pflanzen sich durch die Leitung fort,

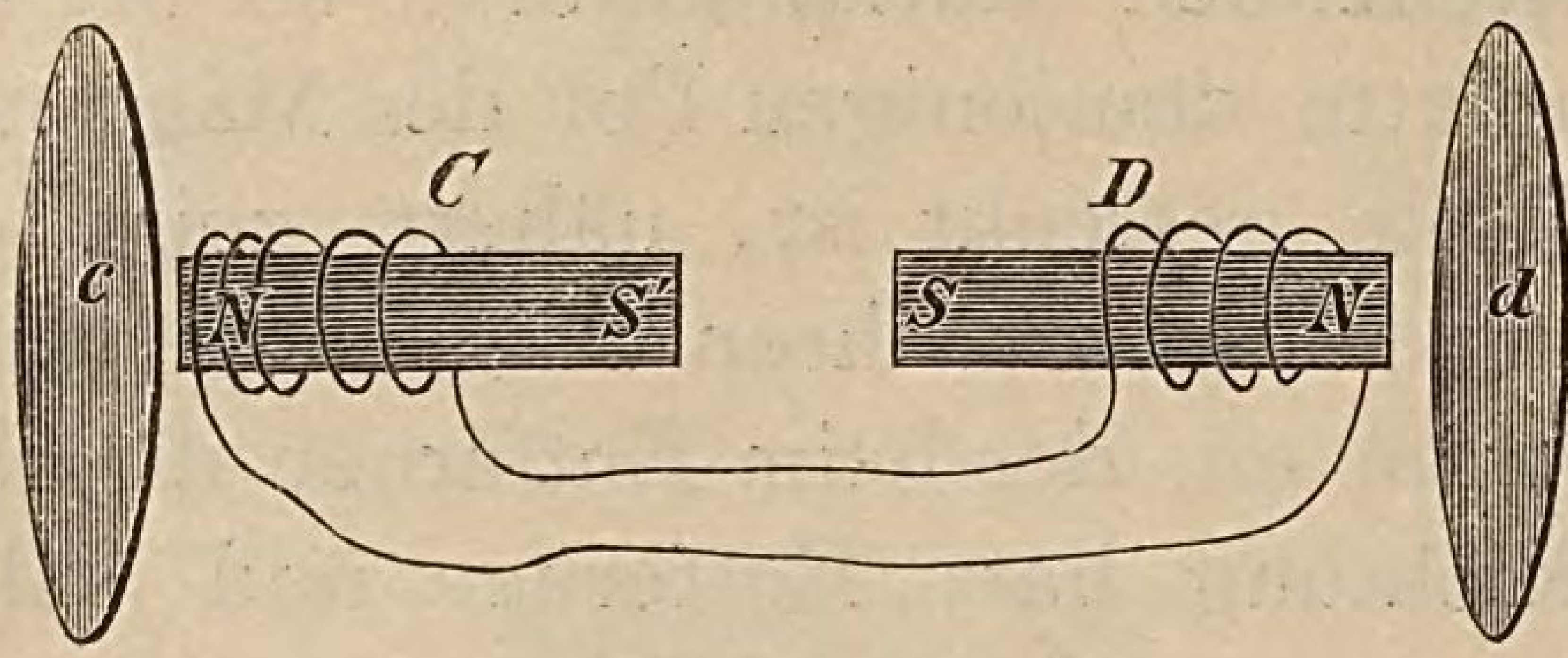
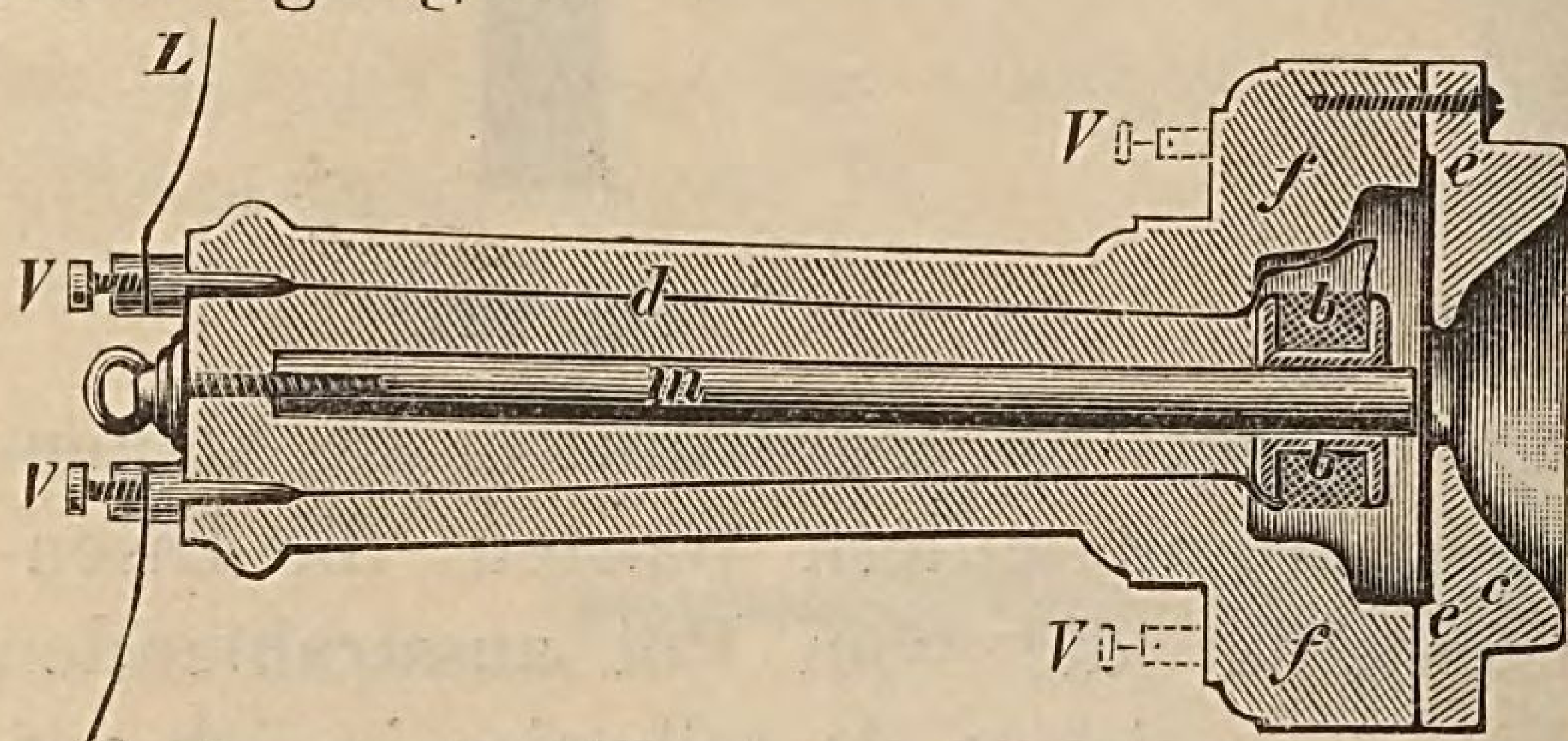


Fig. 228.

durchströmen die Spirale über D, ändern den Magnetismus von D und veranlassen hierdurch die Eisenplatte zu denselben Schwingungen. Diese Einrichtung ist somit umkehrbar, d. h. die Schwingungen, die man in d veranlasst, veranlassen auch c zu denselben Schwingungen.



L Liniendraht.
V Polklemmen.
b Rolle.
c Mundstück.
d Zuleitung zur Rolle.
e Eisenplatte.
f Hülse.
m Magnet.

Fig. 229.

Der Stahl für Magnete sei feinkörnig, gleichartig, gleichhart, ohne Poren, ohne Adern, die Oberfläche werde glatt gefeilt, geschliffen, poliert; wenn Temperatur und Erschütterungen geringen Einfluss äussern sollen, muss er glashart sein, ist aber dann spröde; gewöhnliche Magnete lässt man strohgelb anlaufen.

Konstruktion des Telephons.

(Fig. 229.) Der beschriebene Magnetstab kommt samt seiner Rolle in ein Holzrohr von der in der

Zeichnung angedeuteten Form; der längere Teil derselben erhält einen äusseren Durchmesser von etwa $3\frac{1}{2}$ cm und eine solche centrale Bohrung, dass der Magnetstab mit einiger Reibung sich darin verschieben lässt. Der Drahtrolle gegenüber wird eine ebene Weissblechscheibe von 57 mm Durchmesser und $\frac{1}{4}$ mm Dicke zwischen Mundstück c und Hülse f mittels dreier Holzschrauben eingeklemmt. Zur Regulierung der Entfernung der Eisenplatte vom Magnetpol hat man schon in den noch weichen Stahlstab ein Gewinde eingeschnitten und eine Spindel eingedreht. Bisweilen giesst man Paraffin um den Stab, nachdem das Telephon reguliert, d. h. das Gegensprechen möglichst deutlich geworden ist. Die Schraube ist dann überflüssig. Die Enden der Drahtrolle sind mit den Polklemmen VV verbunden.

Wie die Erfahrung zeigt, erhält man die günstigsten Resultate, wenn man auf den Magnetpol weiches Eisen und über dieses die Induktionsrolle aufsetzt.

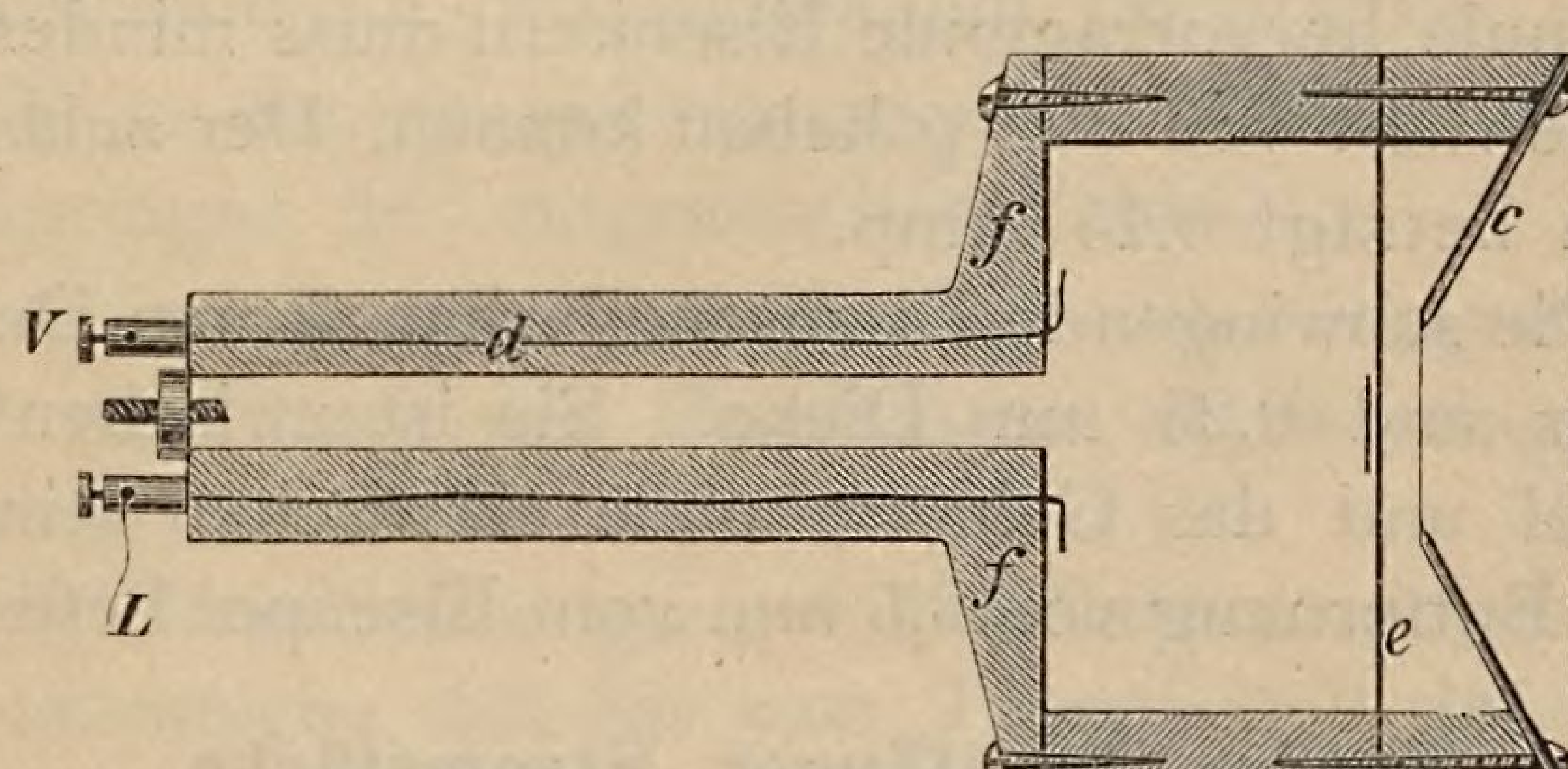


Fig. 230.

Etwas leichter anzufertigen dürfte die zweite Form sein; Fig. 230; sie ist aus 3 Stücken zusammen-

gesetzt und zusammengeschraubt; das Mundstück c ist ein Trichter aus Metall oder gefirnisstem Karton; das Handstück lässt sich aus einem Messingrohr mit einerseits aufgelöteter Scheibe und anderseits eingedrehtem und mit seitwärts angeschraubtem Holzpfropf anfertigen. Die Enden des Rollendrahts b werden an dickere, durch die Handhabe geführte Drähte d angelötet, welche zu den Polklemmen V führen.

Verhältnisse der magnetischen Telephone,

angenommen von der Verwaltung der Schweiz.

Gerader Magnet in Ebonitgehäuse. Der Magnet ist gebildet von 4 Stahlblättern, jedes 11,5 cm lang, 1,6 cm breit und 3 mm dick. Gegen das Mundstück hin ist aufgesetzt ein Cylinder aus weichem Eisen von 7 mm Durchmesser und 18 mm Länge. Die auf den Eisenkern gewickelte Spule besteht aus 2500 Windungen eines Kupferdrahtes von 0,15 mm Durchmesser und 100 Ohm Widerstand. Der aus der Spule hervorragende Eisenkern muss mindestens ein Gewicht von 300 g heben können. Der zulässige Strom beträgt 0,15 Amp.

Die schwingende Eisenscheibe hat 57 mm Durchmesser und 0,25 mm Dicke. Sie ist zwischen den Deckel und das Gehäuse ohne elastischen Ring in einer Entfernung von 0,5 mm vom Eisenpol befestigt.

Sender, Empfänger, Stromstärke.

Mit zwei solchen sorgfältig konstruierten und durch zwei Leitungsdrähte verbundenen Telephonen lässt sich auf einige hundert Meter ein Gespräch

führen. Fast immer hat jeder Teilnehmer zwei Fernsprecher bei sich, den einen zum Sprechen, den Sender, und den andern zum Hören, den Empfänger. Man spricht nicht zu schnell, mit gewöhnlicher Tonstärke auf etwa 15 cm Entfernung in das Mundstück. Fig. 229 und 230.

Bei einer telephonischen Übertragung mittels zweier gleicher Apparate kann man folgende Vorgänge unterscheiden.

1) Die durch das Sprechen erzeugten Schallwellen der Luft treffen die Platte des Telephons und versetzen sie in Schwingungen.

2) Die schwingende Platte erzeugt eine Veränderung des magnetischen Feldes in dem angesprochenen Telephon.

3) Diese Änderungen des magnetischen Feldes erzeugen Induktionsströme in den Drahtwindungen des Telephons.

4) Diese Induktionsströme werden durch die Leitungsdrähte auf den Empfänger übertragen.

5) Im Empfänger erzeugen die Induktionsströme Änderungen des magnetischen Feldes.

6) Infolge dieser Änderungen des Magnetismus wird die Platte des Empfängers in Schwingungen versetzt.

7) Diese Schwingungen der Platte erzeugen Luftwellen, welche sich bis zum Trommelfell des Ohres fortpflanzen.

Zwischen Telephon und Ohr lässt sich folgende Vergleichung durchführen; die Eisenplatte entspricht dem Trommelfell, der Rollenraum der Paukenhöhle,

der Magnet der Schnecke und den Bogengängen und der Rollendraht dem zum Gehirn führenden Nerven.

Die im praktischen Betriebe vorkommenden Ströme haben einen Wert von etwa

$$10^{-4} = \frac{1}{10^4} = \frac{1}{10 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 10} \text{ Amp};$$

sicher hörbar sind noch Ströme von 10^{-6} bis 10^{-7} Amp; am empfindlichsten scheint das Ohr für Töne von 600 bis 700 Schwingungen in der Sekunde zu sein.

Telephon. Die Stärke des Stahlmagneten und die Dimensionen der Eisenplatte.

(Fig. 226 u. 227.) Die Blechplatte muss vom Magneten so angezogen werden, dass dadurch ihre Eigenschwingungen möglichst unterdrückt werden und sie nur die von den Änderungen des Magneten ihr aufgezwungenen Bewegungen annimmt. Dabei muss sie doch noch so beweglich bleiben, dass sie genügend stark alle Schallschattierungen wiedergeben kann.

Ist sie ganz dünn und der Stahlmagnet kräftig, so kann die erstere so wenig Einfluss auf die Kraftlinien ausüben, dass diese die Platte ungehindert durchsetzen. Die Platte wird dann zum Transversalmagneten (Quermagneten), wobei die dem Nordpol des Stahlmagneten zugewendete Seite zum Südpol und die abgewendete zum Nordpol wird. Anders verhält es sich, wenn die Platte imstande ist, den grössten Teil der Kraftlinien abzulenken und an sich zu ziehen. In diesem Falle wird sie zu einem Ringmagneten. Ihr Centrum bildet einen Südpol und der Rand verhält sich nordmagnetisch. Der zweite

Fall ist der günstigere und auf das Bestreben, dies zu erreichen, sind die bis jetzt erfundenen verschiedenen Formen von Telephonen zurückzuführen, denn die Zugkraft zwischen Magnet und Eisenplatte ist proportional dem Quadrat der Kraftlinien, die in Wirksamkeit treten, und je kräftiger die Zugkraft ist, um so grösser wird eine Änderung derselben sein, wenn eine kleine Änderung in der Zahl der Kraftlinien erzeugt wird.

Die Bewegung der Platte ist durch 3 verschiedene Kräfte bestimmt. Einmal wirken die inneren elastischen Kräfte, welche die Platte in ihrer Gleichgewichtslage festzuhalten streben; dann kommen die elektromagnetischen Kräfte zwischen Platte (Membran) und Eisenkern und endlich drittens die Kräfte, welche durch den Anprall der Luft auf die Membran ausgeübt werden. Wird nun das Telephon als Sender gebraucht, so wird die Energie der anprallenden Luftwellen durch die Elasticität der Platte und durch die elektromotorische Induktion absorbiert (verschluckt). Wird dagegen das Telephon als Empfänger gebraucht, so wird die Energie des elektrischen Stromes durch die Elasticität der Platte und durch den Luftwiderstand absorbiert.

Telephon. Das Gespräch.

a. Will man den Mitredenden herbeirufen, so giebt man ihm das Zeichen durch eine Klingel. Fig. 231 veranschaulicht die Verbindungen der Telephone und der Läutwerke zwischen zwei Stationen.

Drückt man in Station I auf den Drucknopf D, während die Telephone an dem Haken des um A

federnden Hebels hängen; so fliesst der Strom der Batterie B durch L′ D′ K′ c′ A′ L″ zurück zu B; die Klingel K′ der Station II ertönt und giebt damit das Zeichen, dass I sprechen will.

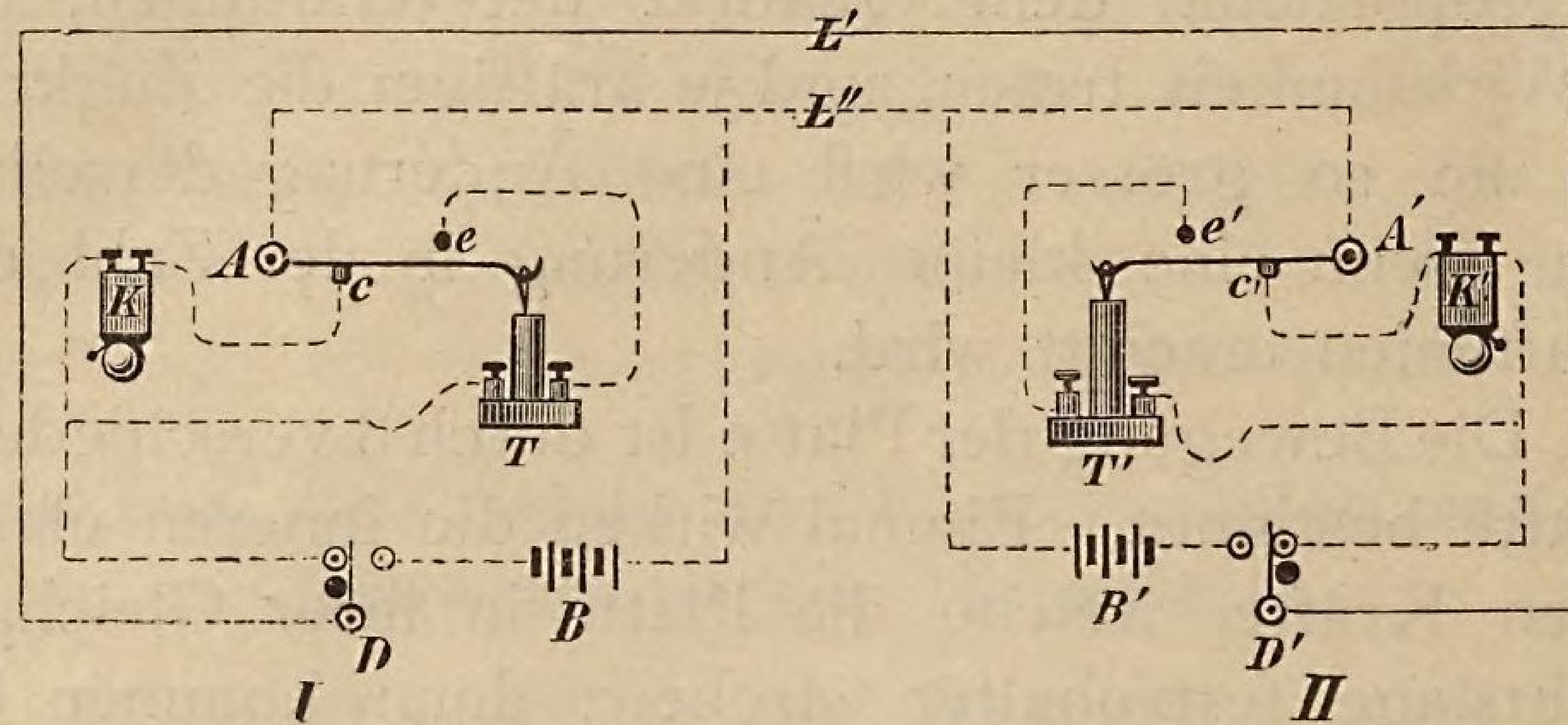


Fig. 231.

Durch Aushängen der Telephone wird der Strom bei c und c′ unterbrochen, dagegen liegen die Telephone an den Linien. Die um A und A′ drehbaren Hebel legen sich an e und e′, die in T durch die beim Sprechen erzeugten Induktionsströme fliessen von T (rechte Polklemme) nach e A L″ A′ e′ T′ (von der linken zur rechten Polklemme) nach D′ L′ D und zurück zur linken Polklemme von T.

Bisweilen ist es vorteilhaft, nur eine Batterie zu gebrauchen und einen weiteren Draht einzuführen. Dieser Fall ist in Fig. 232 dargestellt.

Drückt man auf den Druckknopf D der Station I, während die Telephone in ihren Haken hängen, so fliesst der Strom der Batterie B vom Zink über D L′ K′ c′ A′ L″ zurück zu B + Kupfer.

b. Der Leitungswiderstand ist von grossem Einfluss auf die Güte der Übertragung. Je kleiner er ist, um so besser wird unter übrigens gleichen

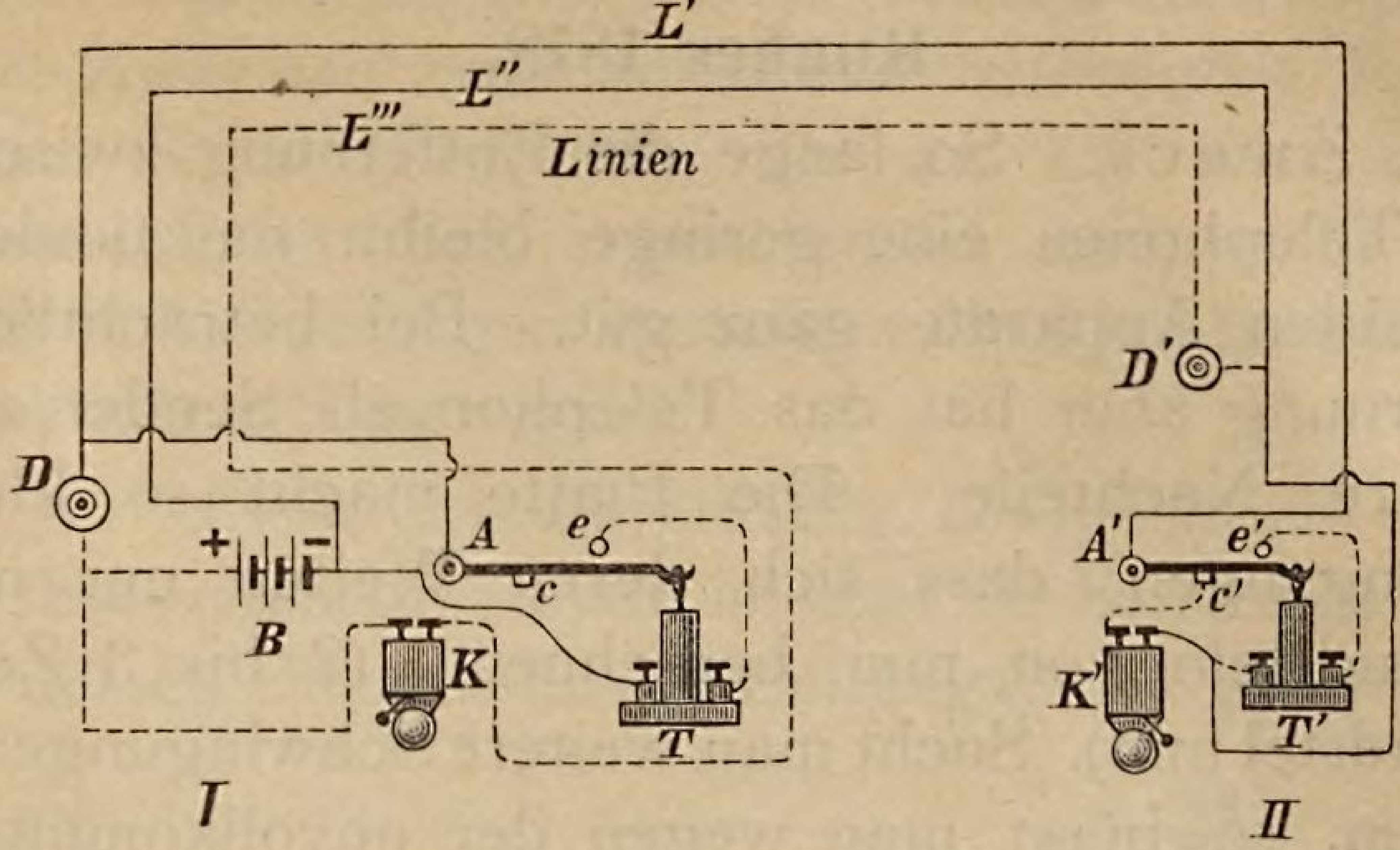


Fig. 232.

Umständen, auch gleicher Stromstärke, die Übertragung ausfallen. Man verwendet daher zu langen Telephonanlagen bestleitenden Kupferdraht.

c. Übertragung der Schwingungen einer Stimmgabel. Von beiden Telephonen werden die Platten entfernt, vor beiden Magneten möglichst nahe die Zinken zweier gleichgestimmter Stimmgabeln aufgestellt, die auf Resonatoren (Cigarrenkästchen) stehen; wird die eine Stimmgabel angeschlagen, so tönt die entfernte bald mit.

d. Bestimmung der Geschwindigkeit einer Maschine in der Ferne. Die eisernen Speichen eines Rades oder die hölzernen, auf welche Eisenstücke aufgeschraubt sind, rotieren möglichst nahe vor dem einen Telephon, dessen Platte entfernt ist. Diese Schwingungen erzeugen in der Platte des entfernten Telephons einen Ton, dessen Höhe und Schwingungszahl mittels einer Sirene bestimmt wird.

Das Mikrophon (Kleintöner.) Lüdtge und Hughes 1878.

a. Zweck. So lange die Entfernung zwischen zwei Telephonen eine geringe bleibt, funktionieren die beiden Apparate ganz gut. Bei beträchtlicher Entfernung aber hat das Telephon als Sender zwei fühlbare Nachteile. Die Platte macht so kleine Schwingungen, dass sich deren Weiten nur nach Tausendsteln von mm berechnen. (2 bis 3 Zehntausendstel mm). Sucht man weitere Schwingungen zu erzielen, so büsst man wegen der unvollkommenen Elasticität der Platte und der ungleichen Beschaffenheit des magnetischen Feldes an Deutlichkeit der Übertragung ein. Auch hat die Verstärkung dieses Feldes ihre Grenzen, indem das Eisen bald gesättigt und die Handhabung der Apparate an enge Grenzen gebunden ist. Andererseits hängt dem Telephon der Nachteil an, dass auf langen Linien die hohen Töne gegenüber den tiefen stark begünstigt werden. Das Mikrophon ist nun ein Sender, welcher imstande ist, diese beiden Fehler abzuschwächen. Man kann mit Hilfe desselben Stromwellen von grösserer Stärke erzeugen, und durch richtiges Anpassen der Dimensionen ist es möglich, selbst sehr grosse äussere Widerstände ohne erhebliche Schädigung der deutlichen Übertragung zu überwinden. Zudem ist der Apparat von verblüffender Einfachheit. Zwar erfordert er die Benützung von Elementen, allein da diese schon für Läutwerke vorhanden sind, sind weitere Ausgaben nicht nötig, so dass sogar für sehr kurze Entfernungen das Mikrophon als Sender gebraucht wird.

b. Die einfachsten Formen des Mikrophons sind: Zwischen zwei horizontal befestigten Kohlenstäben K K' (Fig. 233), die an ein sehr dünnes tannenes Brettchen angeschraubt sind, steht senkrecht in Vertiefungen derselben ein 4 cm langes Kohlenstäbchen S beweglich.

Auf einem Grundbrett (Fig. 234) steht ein dünnes Holzbrettchen, an diesem ist quer ein Kohlenstäbchen, um dessen eines Ende ein Leitungsdraht geschlungen

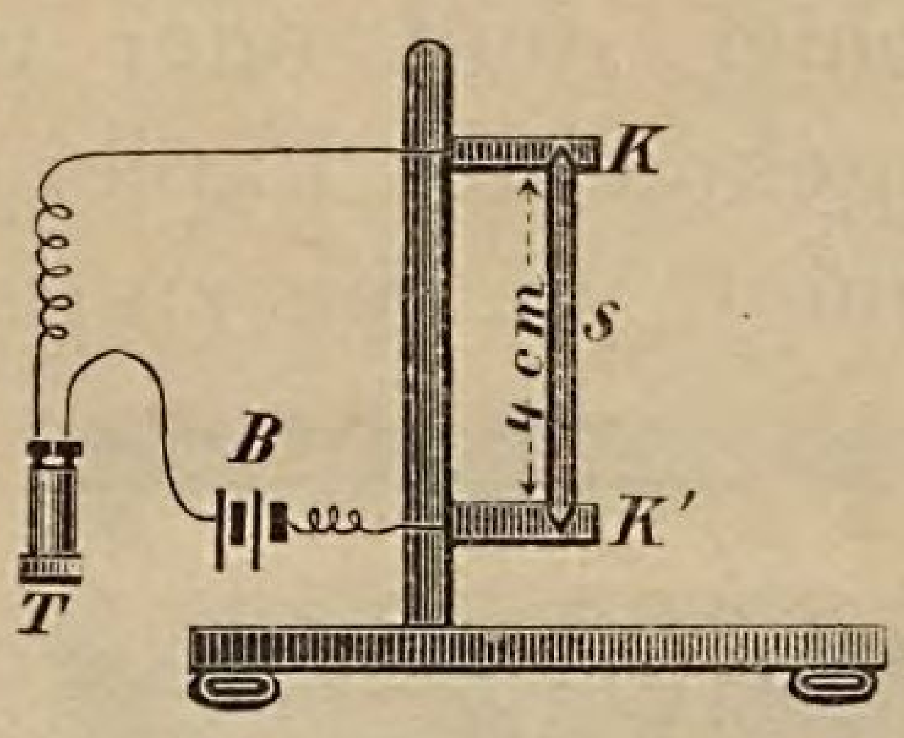


Fig. 233.

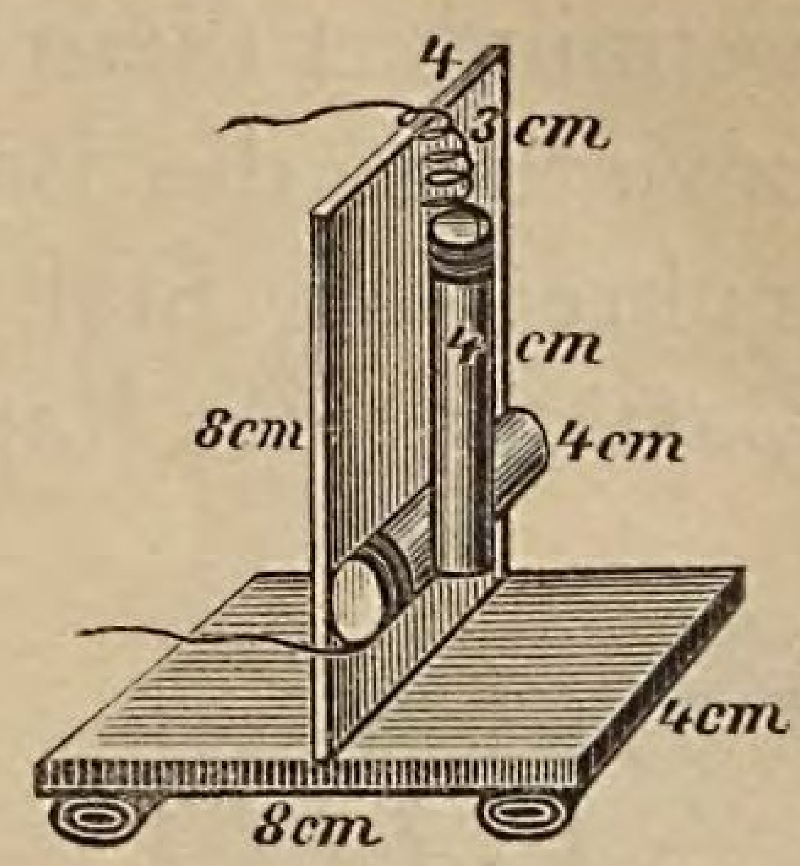


Fig. 234.

ist, aufgekittet oder aufgeschraubt, ein zweites Kohlenstäbchen, das an einer dünnen Kupferdrahtspirale hängt, lehnt sich an das Querstäbchen. Beide Apparate sind, um äussere Erschütterungen abzuschwächen, auf Stücke von Gummischläuchen gestellt.

c. Wirkungsweise. Diese Kohlenreihe ist in den Stromkreis eines Braunstein-Elementes zugleich mit einem Telephon eingeschaltet. Spricht man nun gegen das 1,5 bis 2 mm dicke tannene Brettchen, auf dessen anderer Seite die Kohlen angebracht sind, so ändern die Schwingungen der Platte die Berührungen der Kohlen, der Strom erleidet Schwankungen und damit auch der Magnetismus des Stahlstabes des empfangenden Telephons. Der Apparat

ist fast überempfindlich. Man hört daher unangenehme Geräusche, sobald die Erschütterungen der Platte zu stark werden.

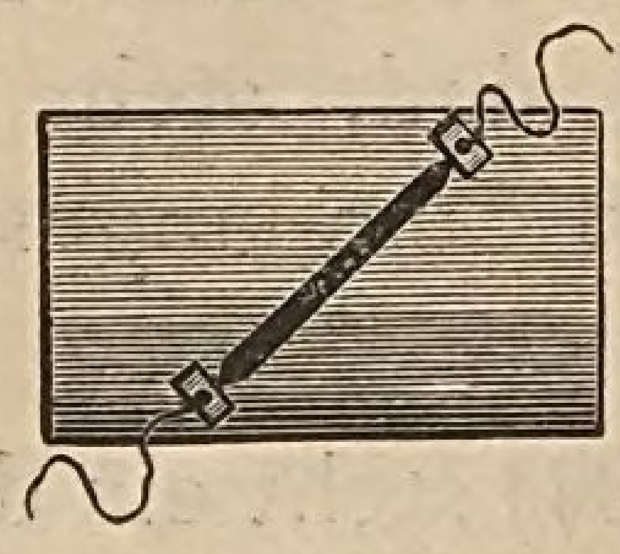


Fig. 235.

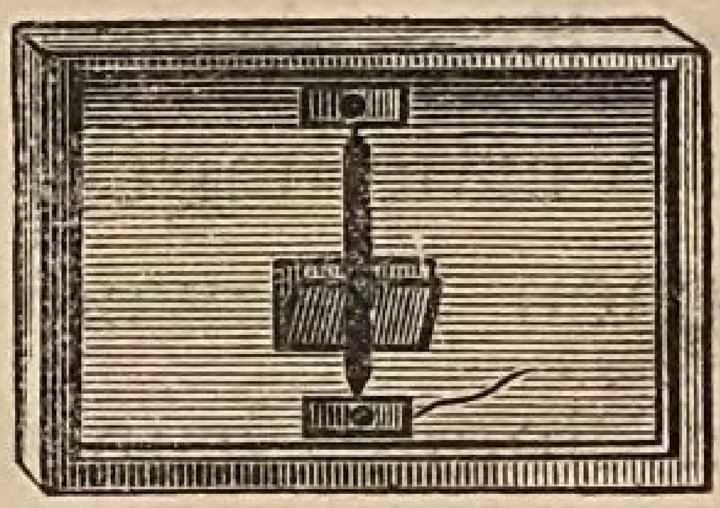


Fig. 236.

d. Abgeänderte Formen (Fig. 235—238). Man vermindert diese Empfindlichkeit, wenn man den Stab zwischen die Balken schief stellt oder unter den senkrechten Stab ein umgeknicktes Papier legt (die Elasticität des Papiers genügt, um die zu grosse

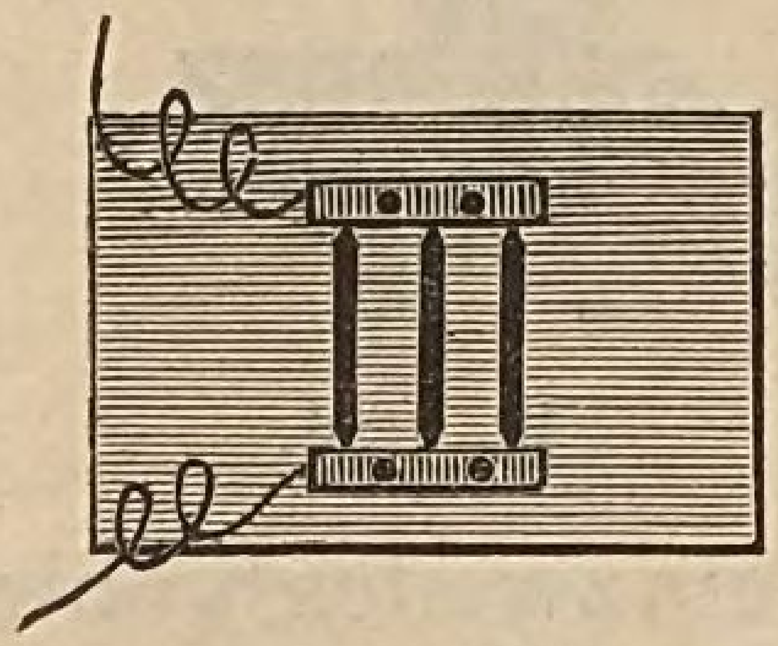


Fig. 237.

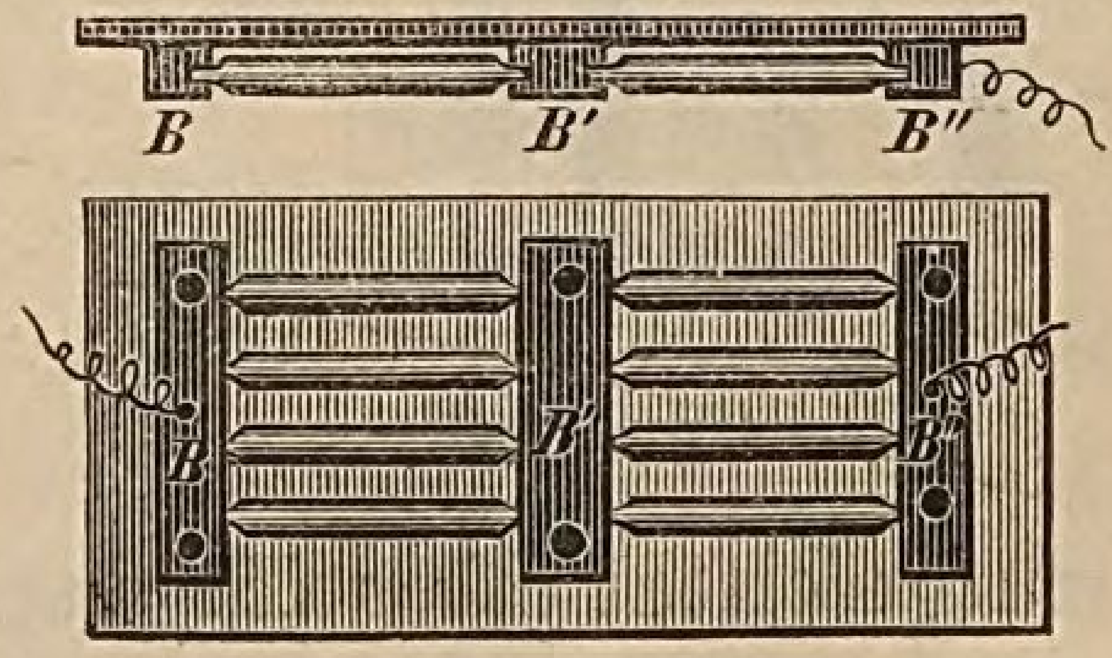


Fig. 238.

Beweglichkeit des Stäbchens zu vermindern und die Geräusche zum Verschwinden zu bringen) oder indem man mehrere Stäbchen zwischen die Balken senkrecht stellt oder indem man (nach Ader) zwei Reihen Stäbchen zwischen die Balken BB'B'' wagrecht legt und die Balken auf die Holzplatte (Membran) schraubt.

e. Mögliche Fehler im Mikrophon. Durch Staub u. s. w., welche sich zwischen Zapfen und Balken einsetzen, kann die Wirkung der Mikrophone geschwächt werden. Man rollt dann die Stäbe mit dem Finger, wodurch die Berührungsstellen wieder

rein werden. Treten in den Mikrophonen nach Fig. 237 und 238 knarrende Geräusche auf, so dämpft man die Bewegung der Stäbchen, indem man quer über sie einen dicken Wollfaden zieht und dessen Spannung mit Schraube reguliert. Oder wird ein Messingblech darüber gelegt, auf dessen innerer Seite eine Schicht Watte oder ein Filzstreifen gelagert ist. Der Druck auf die Stäbe wird mit Schrauben reguliert.

Platten, Kohlen, Kontakte; Mikrophon Blake.

Die Grösse der Mikrophonplatte wechselt mit der Dicke und Schwingungsfähigkeit des Materials; die grösseren Platten sind 20 cm breit und lang. Man fertigt sie aus verschiedenen Stoffen an: Tannenholz, Hartgummi, sehr dünnem Glas, Glimmer, Karton und Papier, Metallblech von etwa 6 cm Durchmesser und sogar aus Kork. — Holz, Karton und Papier sind sehr hygroskopisch, d. h. sie nehmen Feuchtigkeit aus der Luft auf, werden dadurch weich und dehnen sich aus; man hat sie demzufolge vor der Verwendung sehr gut zu firnissen. Die Brettchen aus Tannenholz, 2 bis 3 mm dick, 10 bis 15 cm breit und 15 bis 20 cm lang, müssen astfrei sein; sie werden am Rande zunächst auf Gummistreifen geleimt und mit diesen auf den Rahmen. Im Falle man Metallplatten verwendet, isoliert man die Balken durch unterlegten Karton von ihnen, auf Holzmembranen schraubt man die Balken direkt.

Die Kohlenstäbe für Mikrophone werden wie die für Beleuchtungszwecke hergestellt. Man kann sie auch aus diesen sägen; man schneidet daraus

Stücke von 3 bis 4 cm Länge und 4 bis 5 mm Dicke und feilt oder schleift Zapfen an die Enden.

Die bisher beschriebenen Mikrophone sind mehrkontaktige, d. h. die Kohlen berühren sich in mehreren Punkten; das Mikrophon Blake ist ein einkontaktiges. (Fig. 239.) Der Kontakt wird durch einen Platinstift A gebildet. Dieser Platinstift ist in eine feine Feder F gelötet, lehnt sich an die schwingende Metallplatte B und gegen die Kohle K, welche gleichfalls an einer Feder f befestigt (eingelassen) ist. Beide Federn sind an den Querarm

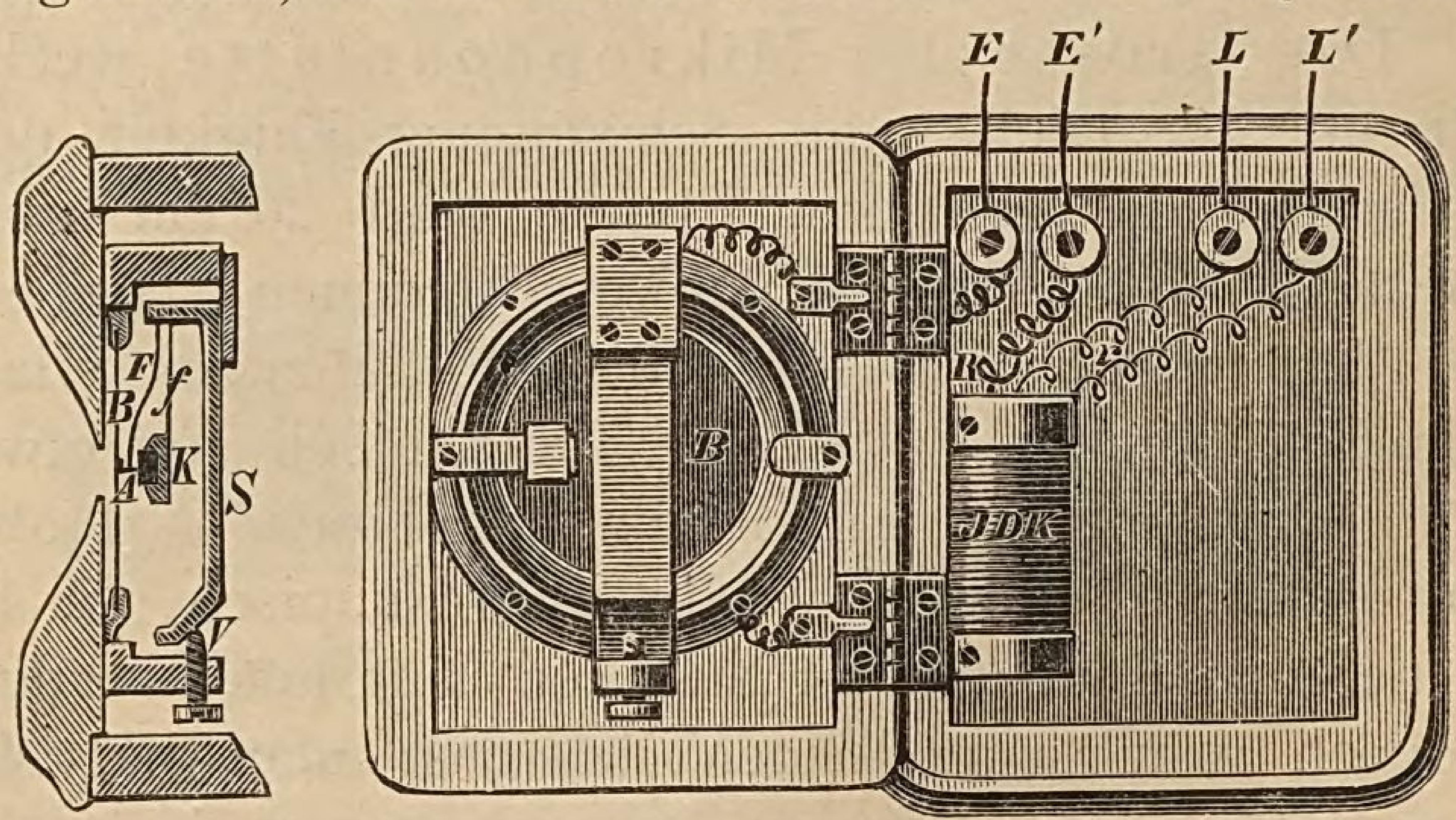


Fig. 239.

der starken Metallschiene S, von einander isoliert, geschraubt und werden mehr oder weniger zusammengepresst, in dem Maasse als man die Schraube V ein- oder auswärts dreht. Die dünne schwingende, vollkommen ebene Metallplatte hat einen Durchmesser von ungefähr 6 cm.

Kohlen-Mikrophone von Edison (1875) und Berliner.

a. Versuch. (Fig. 240.) Um den Stabmagneten A von 1 cm Durchmesser und 10 cm Länge

sind 100 Windungen B isolierten Drahtes von 0,2 bis 0,3 mm Dicke gelegt und dessen Enden mit 2 Elementen verbunden, so dass der Stabmagnetismus durch den Strom verstärkt wird. Ist der Draht um den Südpol gewunden, so muss die Stromrichtung, wenn man auf den Südpol blickt, mit der Richtung des Uhrzeigers übereinstimmen. Dem Magneten gegenüber hängt an einem Faden oder Papierstreifen

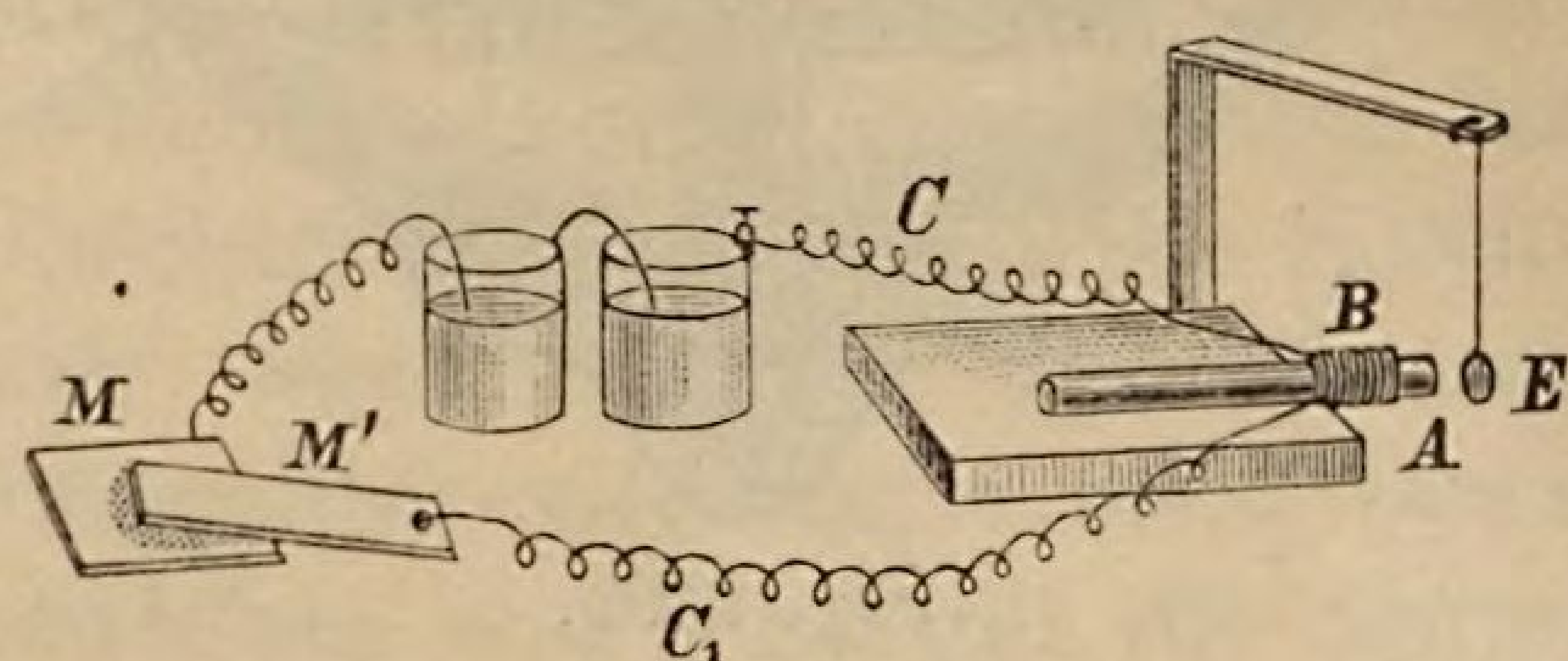


Fig. 240.

eine Eisenscheibe von der Grösse einer kleinen Münze. Die Pole der Batterie sind mit zwei reinen Metallblechen verbunden, zwischen welche Lampenschwarz zu einem dünnen Kuchen gepresst ist. Drückt man auf M', so wird die Scheibe E von A angezogen.

b. Konstruktion. Fig. 240a. Zwischen zwei Holzfassungen OO' und NN' ist die elastische Platte LL eingeklemmt. Kohlenpulver erfüllt den niedrigen Cylinder C und ist oben und unten mit kreisförmigen Platinplatten in Berührung, die mit den Poldrähten P und P' leitend verbunden sind. Auf dem oberen Blech liegt ein Konus von Kautschuk oder Kork H. Die Schraube F hat ihre Lage im Ebonitgehäuse und bewegt den Cylinder E, mit Hilfe dessen die Pressung der Kohlenschichten C beliebig reguliert werden kann. Der Leitungswiderstand der Schicht C beträgt ungefähr 1 Ohm. Spricht

man durch das Mundstück M, so gerät die Platte L in Schwingungen, die sich bis zum Kohlenpulver fortpflanzen und den Leitungswiderstand verändern.

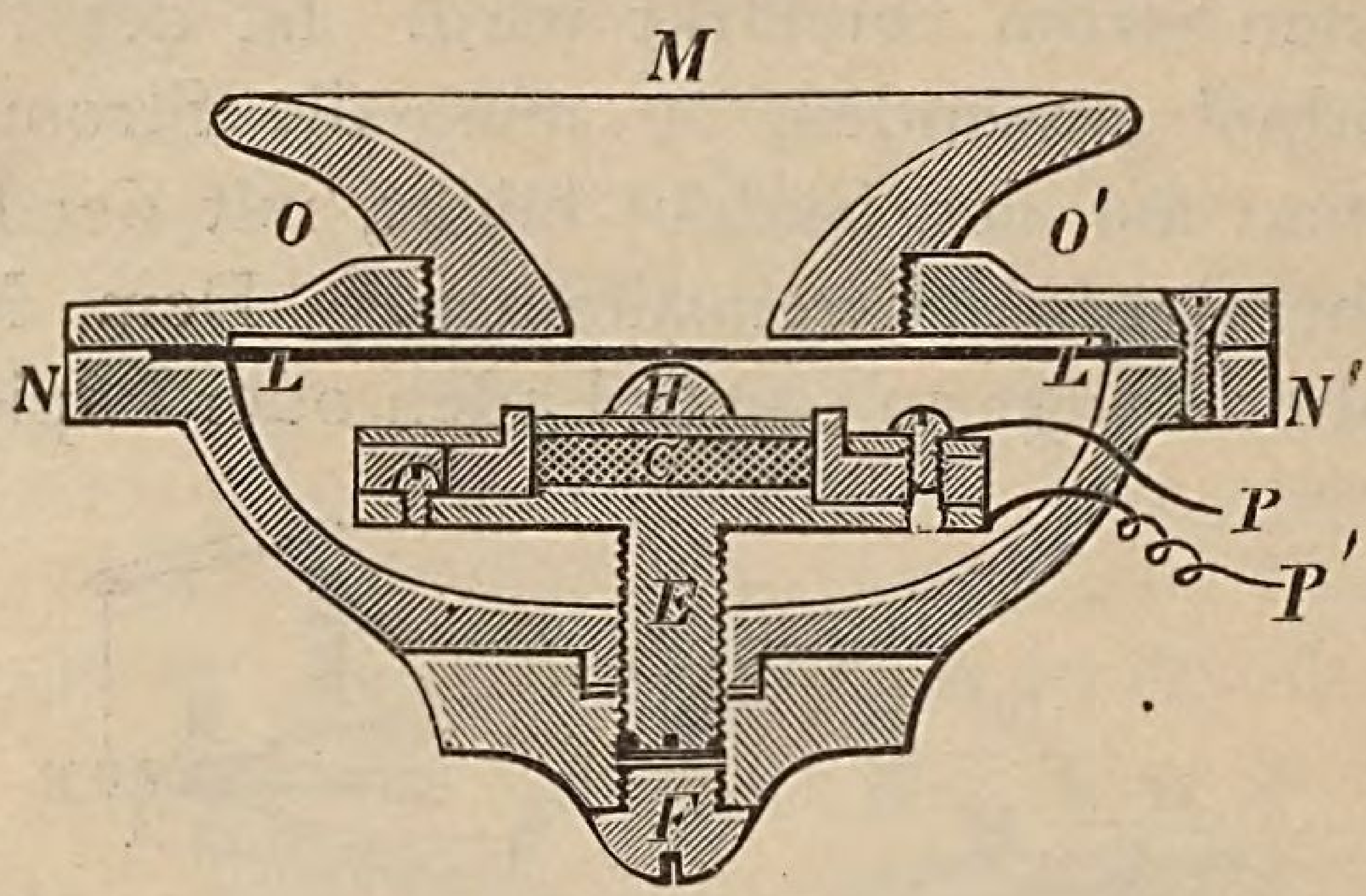


Fig. 240a.

c. Wirkungsweise. Berühren sich nämlich zwei feste Körper, so wird bei Vermehrung des Druckes die Grösse der Berührungsflächen wachsen da vermöge der Elasticität die Berührungsflächen sich genauer aneinander legen; die Berührungspunkte vermehren sich, die vom Strom zu passierende Querschnittfläche vergrössert sich und demgemäss muss der Widerstand des Leitersystems abnehmen und die Stromstärke wachsen. Ähnliches tritt nach obigem Versuch beim Zusammenpressen gepulverter Leiter auf. Durch Druck werden die Zwischenräume zwischen den leitenden Teilchen kleiner, der Flächenraum der Berührungsstellen grösser und die Leitungsfähigkeit nimmt zu.

d. Auf demselben Prinzip ruht Berliner's Universal-Mikrophon-Transmitter. (Fig. 241.) Von dem Schalltrichter S aus Weichgummi dringt der Schall an die Kohlenmembran M und bringt

diese in Schwingungen. M ist zwischen dem Rand der Dose B und deren Deckel B_1 eingeschraubt. Der Kohlencylinder C wird mittels der Schraube und Mutter L in dem Gehäuse befestigt. An den Zapfen von L schliesst sich das Gummiröhrchen G an, das die Schwingungen der Kohlenmembrane dämpft. Der Kohlencylinder, der unten mit Rinnen versehen ist, ist ringsum mit Filz F umgeben. Der Zwischenraum zwischen C, F und M ist mit Kohlengries gefüllt. An die an den Deckel B_1 geschraubte Hülse H wird der Schalltrichter S geschoben. Die Zuleitungsdrähte der Batterie werden an L und M angeschlossen. Dieser Transmitter wird mit 4 bis 5 Braunstein-Elementen getrieben und gestattet die Sprache, besonders aber Musik, laut und deutlich in einem Zimmer

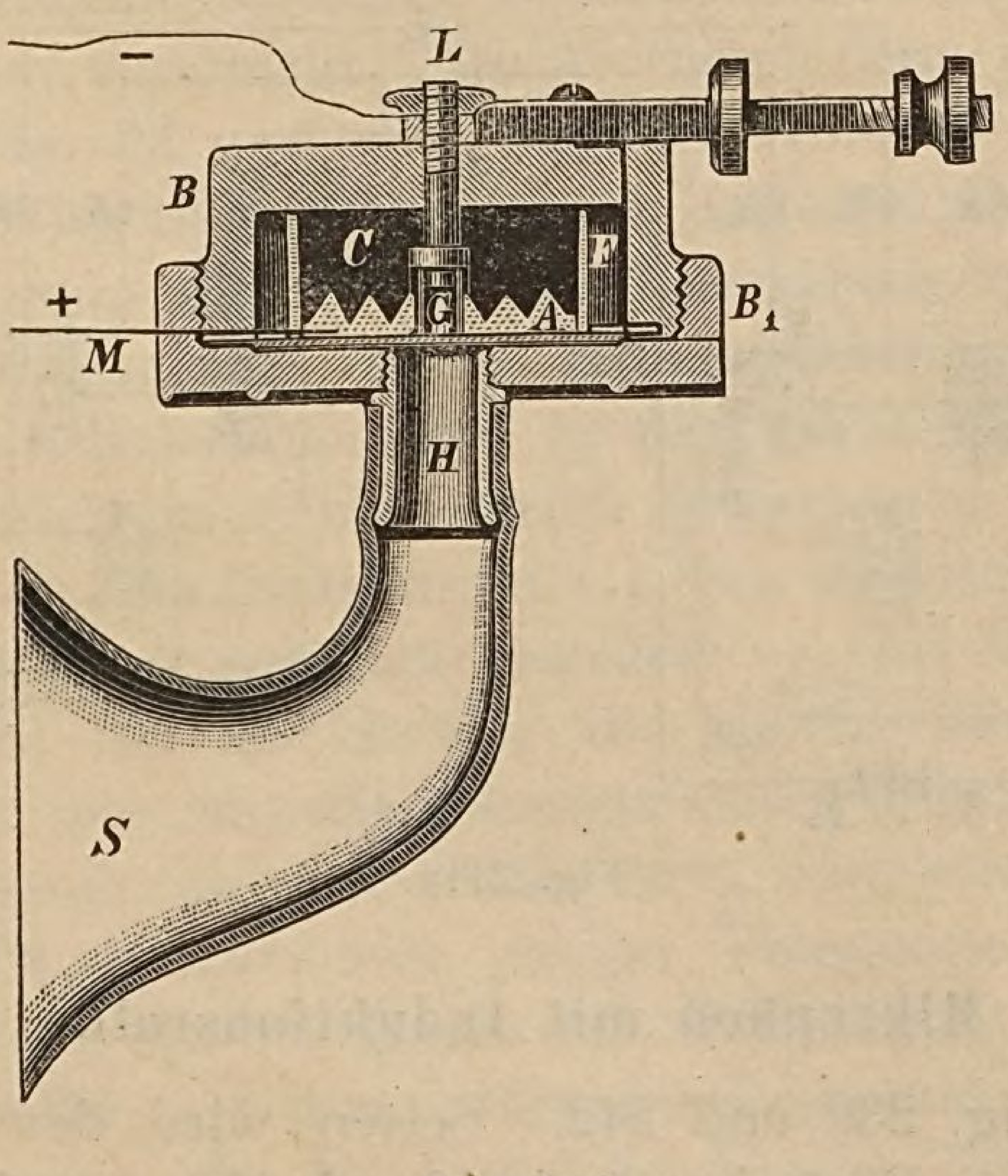


Fig. 241.

zu vernehmen. Er ist daher in einer grossen Zahl von Bahnbetrieben eingeführt.

Bei den meisten Griesmikrophonen „backen" die Kohlenkörner mit der Zeit zusammen und die Übertragung wird schlechter.

Schaltungsskizze. Wünscht man die Batterie nur auf einer Station, so verbinde man Telephon T, Mikrophon M und Läutwerk L nach Fig. 241a. (Vergl. Fig. 232 u. 244.) Sobald das Telephon einer Station abgenommen wird, legt sich der Hebel H an die Kontaktfedern 3 und 4 an und das Läutwerk der andern ertönt so lange, bis daselbst das Telephon gleichfalls abgenommen wird. K_1, K_2 und K_3 sind Verbindungsklemmen; L_1 und L_2 sind parallel geschaltet.

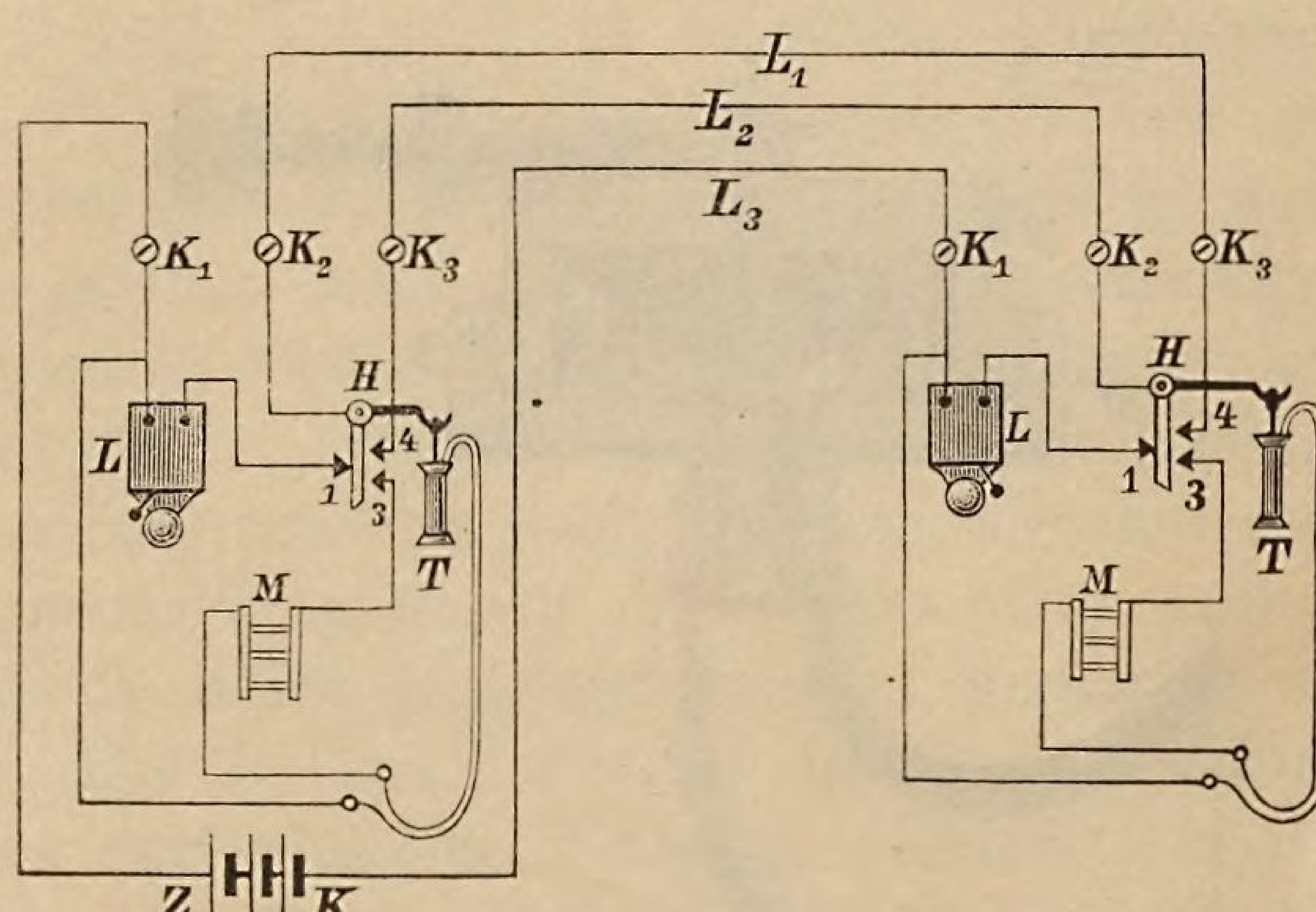


Fig. 241a.

Mikrophon mit Induktionsrolle.

a. Fig. 239 und 242. Selten wird der primäre Strom der Batterie direkt durch das empfangende

Telephon geschickt. Man thut dies nur auf kurze Entfernung und in diesem Falle besteht die Telephonrolle aus dickerem Draht (0,5 mm Durchmesser) und der Telephonstab ist ein weicher Eisenstab, da ein solcher für die Änderungen in der Stromstärke empfindlicher ist als ein harter Stahlstab. Wird die Entfernung zwischen dem sendenden Mikrophon und dem empfangenden

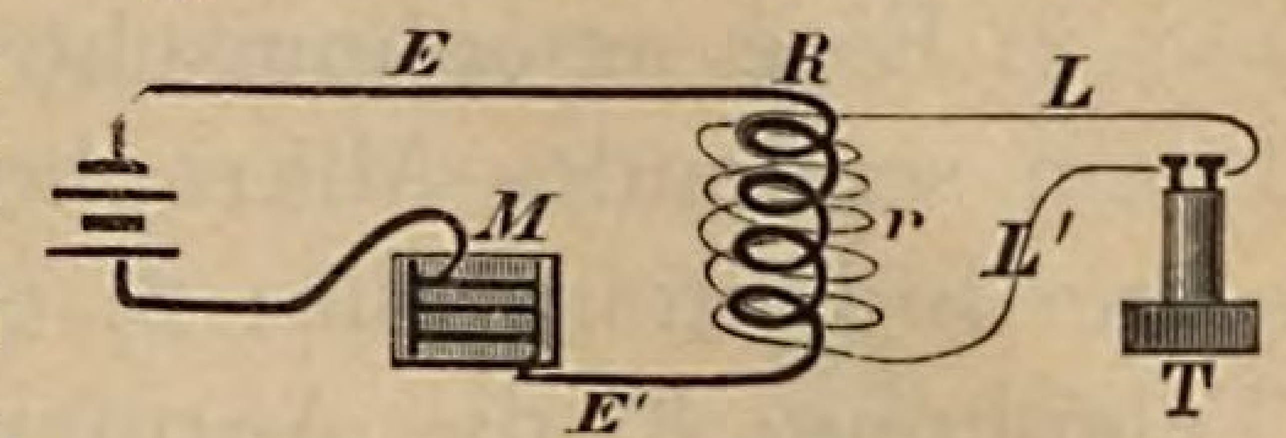


Fig. 242.

Telephon beträchtlich, so wird der Widerstand für den Batteriestrom zu gross, und die Stromstärke und Stromschwankungen nehmen mit der Entfernung ab. Befriedigendere Resultate erlangt man, wenn man nach Elisha Gray (1874) eine kleine, als Transformator wirkende Induktionsrolle in den Batteriestrom einschiebt. Dieser fliesst dann durch das Mikrophon M und die primäre Rolle R von geringem Widerstande zurück zur Batterie. Die Stromänderungen, die durch die Schwingungen der Mikrophonplatte in deren Kohlenstäben veranlasst werden, wiederholen sich in der Induktionsrolle R; die dadurch in r induzierten Stromwellen sind es, welche in dem Liniendraht L L′ zu dem empfangenden Telephon geschickt werden. — (Im Mikrophon Blake ist für die Ströme die gleiche Bezeichnung gewählt wie für die schematische Figur.) Die Induktionsrolle hat nur 40 bis 50% Nutzleistung.

b. Widerstände einiger Telephone und Mikrophone: Bell-Telephon mit Stabmagnet 70 Ohm; Drahtstärke 0,16 mm. Siemens-Telephon mit Hufeisenmagnet 180 bis 200 Ohm. Ader-Telephon 75

Ohm. Kohlenwiderstände 1 bis 30 Ohm, je nach Einstellung der Kontakte. Primäre Rolle 0,5 bis 1 Ohm. Sekundäre Rolle 150 bis 200 Ohm.

Apparate einer mikro-telephonischen Station.

a. Eine telephonische Station muss enthalten: 1) ein sendendes Mikrophon mit seiner Batterie und seiner Induktionsrolle; 2) ein oder zwei empfangende Telephone; 3) die Anrufapparate.

Der Widerstand des Stromkreises für Mikrophon, Batterie und primären Draht der Induktionsrolle soll möglichst gering sein, damit die schwachen Schwankungen in den Kohlenkontakten eine beträchtliche Änderung in der Stromstärke veranlassen, es folgt daraus, dass man Elemente von geringem Widerstande zu wählen hat und dass auch die primären Drahtwindungen geringen elektrischen Widerstand besitzen müssen.

b. Für diesen Stromkreis: Säule, Mikrophon und primäre Rolle reichen gewöhnlich 3 Braunstein-Elemente, auf Spannung geordnet, aus, da ihre EMK verhältnismässig gross und ihr innerer Widerstand ziemlich gering ist, wofern man Briquetts mit grossen Zinkplatten gebraucht. Die Mikrophone Ader verlangen 3 Elemente von 12 cm Höhe, auf Menge geschaltet.

Aber die Batterie, welche die entfernte Klingel in Thätigkeit versetzen soll, muss aus um so mehr Elementen bestehen, auf je grössere Entfernung sie zu wirken hat; indessen geht man selten über 6 bis 7 Braunstein-Elemente, auf Spannung verbunden, hinaus.

Ausser den Braunstein-Elementen lassen sich

auch und fast mit gleichem Vorteil Kupfervitriol- und Ätzkali-Elemente benützen.

Es ist jedoch nicht unumgänglich nötig, auf jeder Station zwei Batterien zu unterhalten; von der grösseren Batterie für den Anruf kann man leicht 2 bis 3 Elemente für den Mikrophonkreis abzweigen. (F.243.)

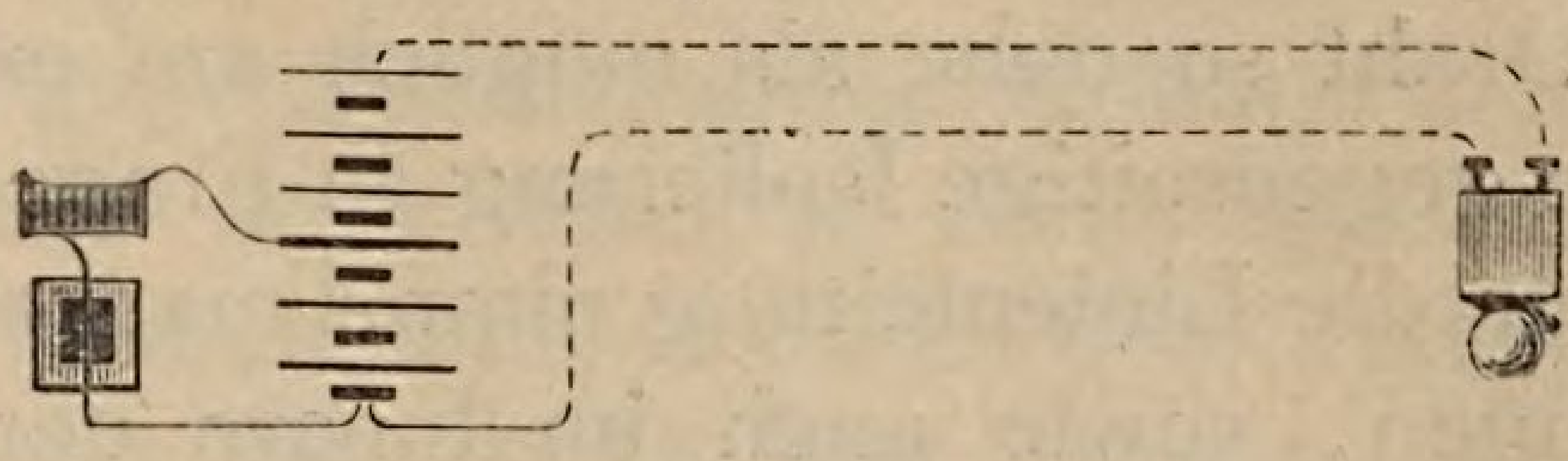


Fig. 243.

c. Die Linie, welche die beiden Stationen verbindet, besteht gewöhnlich aus zwei Drähten; man kann indessen den einen umgehen, wenn man den negativen Pol der Batterie an die Gas- oder Wasserleitungsröhren anschliesst (sorgfältig anlötet) oder indem man ihn mittels Erdplatten ($1 \cdot 0{,}5$ bis $1 \cdot 1$ m^2 Seite) in die feuchte Erde oder in das Wasser eines Brunnens versenkt.

Doch ist dies Verfahren nicht ohne manche Übelstände. Die versenkten Platten werden von den verschiedenen Stoffen des Erdreichs und der Gewässer angegriffen und erzeugen Erdströme, die in den Telephonen höchst unangenehme Geräusche verursachen. Bisweilen veranlassen Strömungen in der Luftelektricität Erdströme, die tagelang die telephonischen und telegraphischen Linien durchfliessen. Diese Vorgänge stehen in engem Zusammenhang mit den Nordlichtern.

Man verzichtet daher bei den telephonischen Leitungen auf die Erdleitung und verwendet einen Rückleitungsdraht, was noch den Vorteil hat, dass die störenden Wirkungen der telephonischen und

telegraphischen Induktion sich in gleicher Weise auf Zu- und Rückleitungsdraht äussern und sich aufheben oder doch schwächen. Zwar ist es nicht wahrscheinlich, dass der noch lernende praktische Elektriker solche Einflüsse zu befürchten haben wird; sollten sie aber dennoch vorhanden sein, so ziehe er den zweiten Draht so nahe als möglich am ersten, ohne indes ihre gegenseitige Isolierung in Frage zu stellen.

d. Für die Linienleitung nimmt man auf geringe Entfernungen, sowie auch im Innern der Gebäude Kupferdraht von 0,8 bis 0,9 mm Durchmesser, sogenannten Baudraht. Für grössere Entfernungen spannt man verzinnte Eisendrähte von 2 bis 6 mm Dicke oder Siliciumdraht von 0,8 bis 1 mm Dicke aus. Letzterer ist leicht, zäh und gut leitend.

Sie werden über Porzellanglocken auf Stangen von 80 zu 80 m Entfernung für Eisendraht und 150 zu 150 m Entfernung für Siliciumdraht geführt.

Wie schon bemerkt, sind telephonische Unterhaltungen mittels Eisendrähten auf geringere Entfernungen möglich als mit Kupfer- oder Siliciumdrähten, da sich die elektrischen Wellen in Eisen wie in einer zähen Flüssigkeit fortpflanzen.

Mikro-telephonische Einrichtung innerhalb eines Gebäudes.

Kostenanschlag:

2 Stationen	40,00	ℳ
6 Elemente	12,40	„
4 Haken	0,80	„
½ kg verzinnte Stifte	0,50	„
1 „ Leitungsdraht	3,25	„
Guttaperchapapier	0,20	„
zusammen	57,15	ℳ

Zwei vollständige mikro-telephonische Stationen. (Fig. 244.) Solange als die Telephone noch an ihren Hebelhaken hängen, giebt man das Anruf- und Antwortzeichen mit den Läutwerken L, d. h. man drückt auf D und D. Der Signalstrom — gestrichelt — geht dann, wenn in Station I die Feder f mit dem gegenüberliegenden Kontakt 2 in Verbindung gesetzt wird, über 5 durch die Leitung zu Station II 5, dann über 6 durch den Telephonhebel, der in diesem Fall durch das Telephon an 1 angedrückt ist, nach 1 und durch die Glocke über 7 zur Erde. Die Erde kann natürlich durch einen Rückleitungsdraht ersetzt sein.

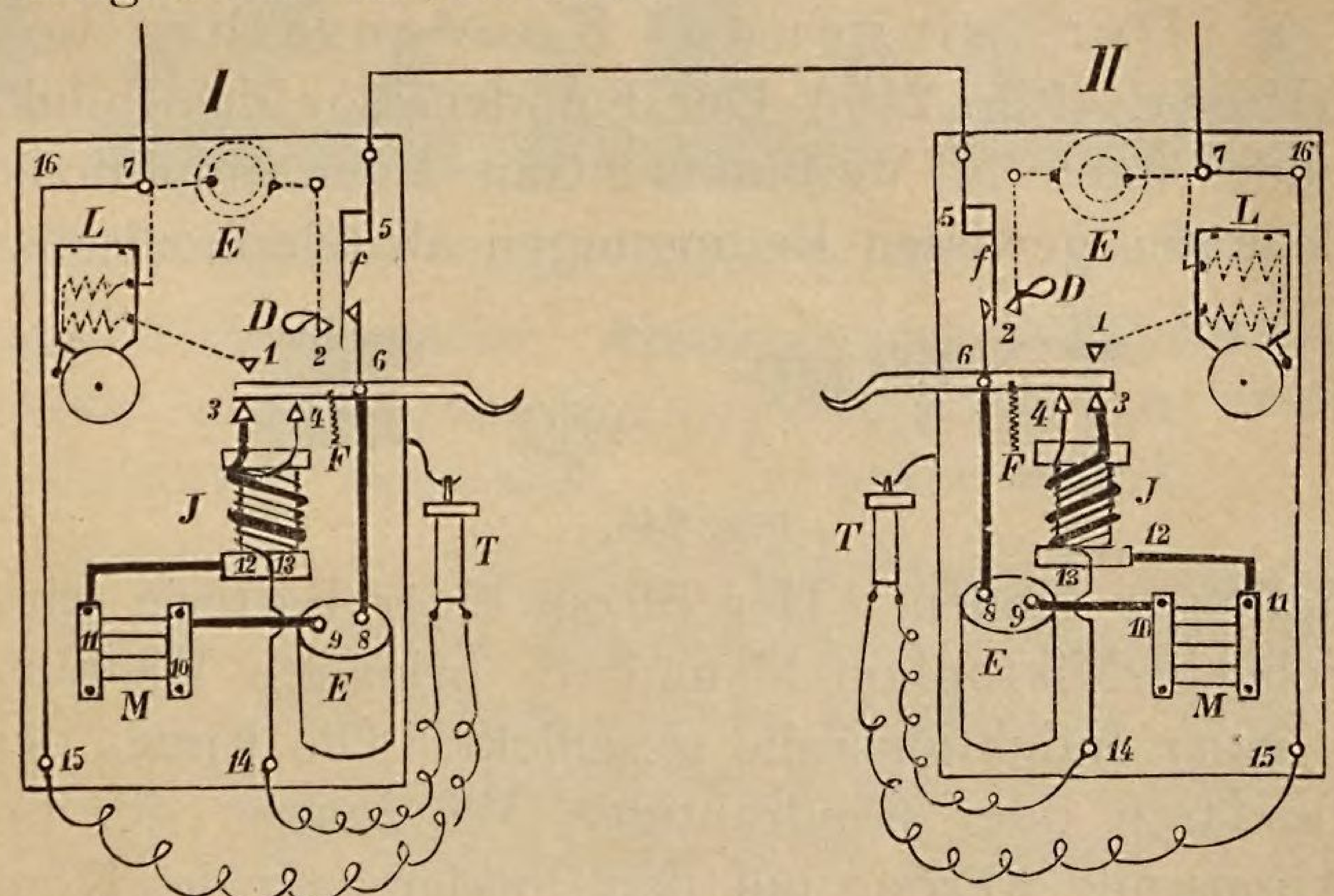


Fig. 244.

Der Mikrophonstrom — stark ausgezogen — geht vom Element 9 zum Mikrophon 10, durch dasselbe, von 11 nach 12, durch die primäre Spule, über 3, über den Telephonhebel 6 und zurück zum Element 8.

Der in der Induktionsrolle mit Hilfe des Mikrophons induzierte Telephonstrom — schwach ausgezogen — geht von der Station I von der Spule über 4, durch den Hebel über 6, 5 durch die Leitung nach Station II, hier über 5, 6, den Telephonhebel nach 4, durch die sekundäre Spule nach 13 und 14, ferner durch das Telephon nach 15, 16 und über 7 zur Erde.

Für den Unterricht lässt sich die ganze Anlage auf einem Brett anbringen. Die Elemente können Trockenelemente sein.

Einige Apparate zur Unterhaltung.

a. Der singende Kondensator von Dolbear. (Fig. 245.) Der Kondensator des Induktoriums kann in Verbindung mit einer Induktionsrolle unter gewissen Bedingungen als telephonischer

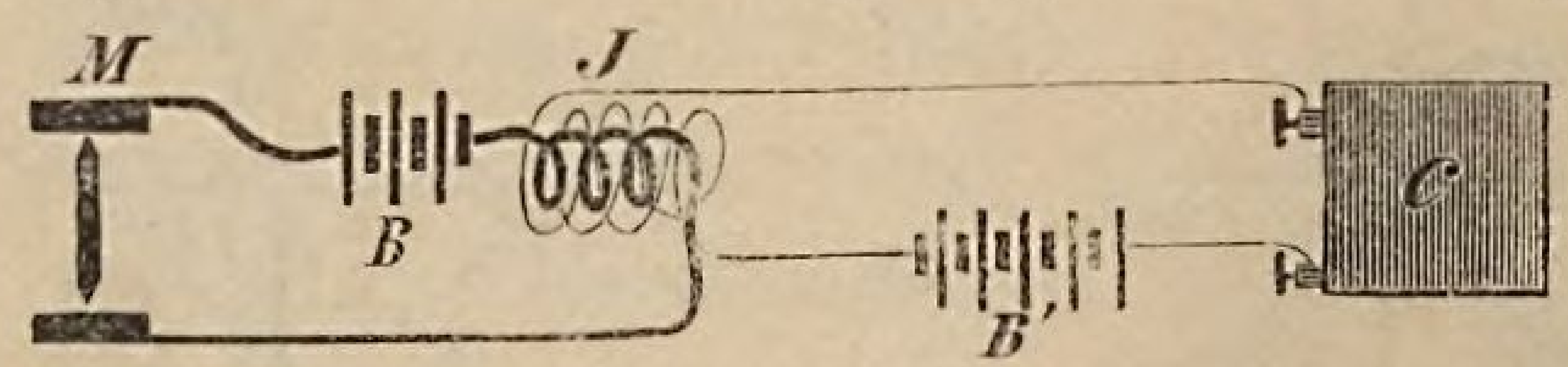


Fig. 245.

Empfänger dienen. Der Strom einer Batterie wird durch ein Mikrophon M und die primären Windungen einer Induktionsrolle geschickt. Die Enden der sekundären oder feindrahtigen Windungen der Induktionsrolle werden mit den Polklemmen des Kondensators c verbunden. Man erhöht jedoch die Wirkungen des Kondensators bedeutend, wenn man in den einen Zweig der sekundären Rolle eine Batterie B′ einschaltet. Die Zahl der Elemente dieser Batterie richtet sich nach der Grösse der Oberfläche des Kondensators, den sie zu laden bestimmt ist.

b. Einen telephonischen Empfänger ohne Platte (Fig. 246) erhält man, wenn man einen Magneten von sehr kleiner Masse und sehr starkem Magnetismus, z. B. ein Stück einer Uhrfeder, mit einer Rolle aus sehr feinem Draht umgiebt.

c. *Ein Telephon ohne Platte und ohne Magnet* (Fig. 247) wird angefertigt, indem man einen weichen Eisenstift von 1 mm Dicke und 3 cm

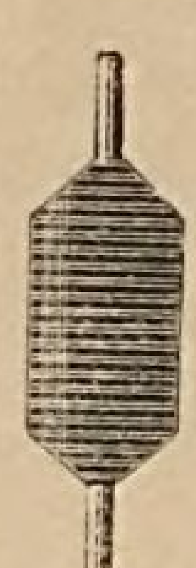


Fig. 246.

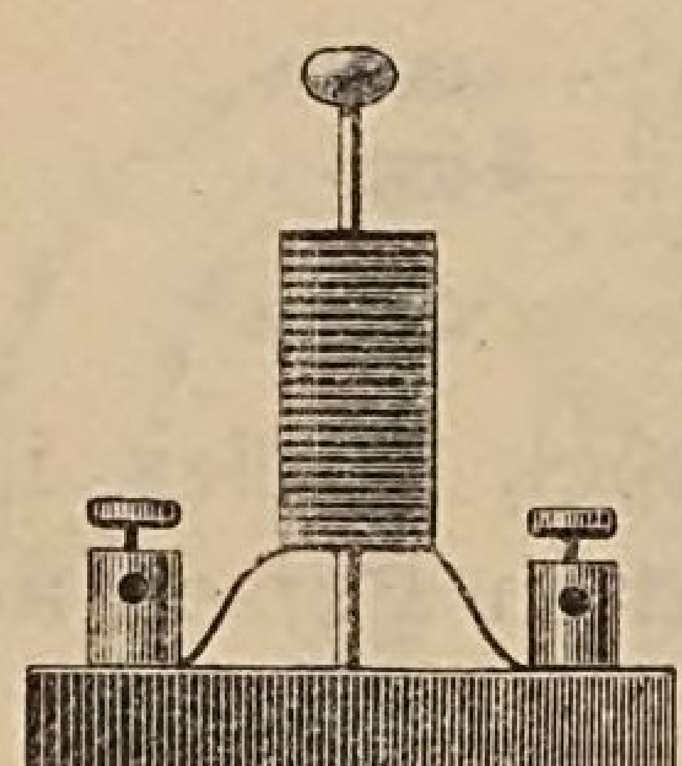


Fig. 247.

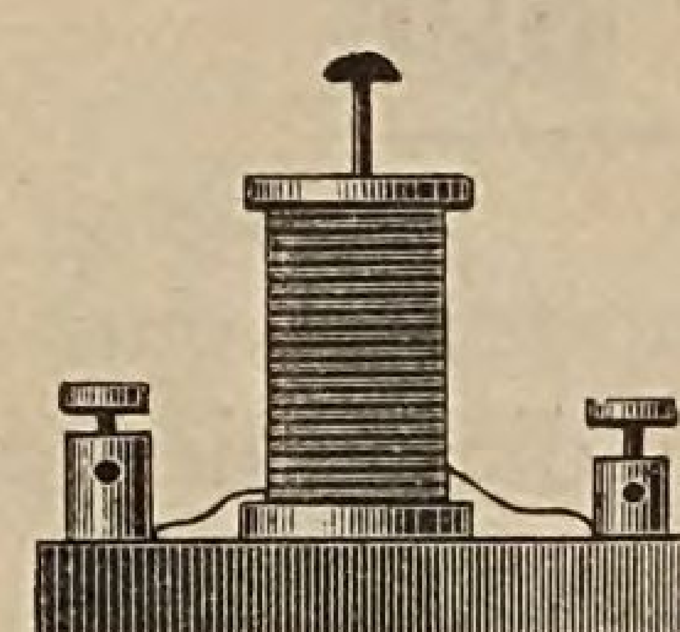


Fig. 248.

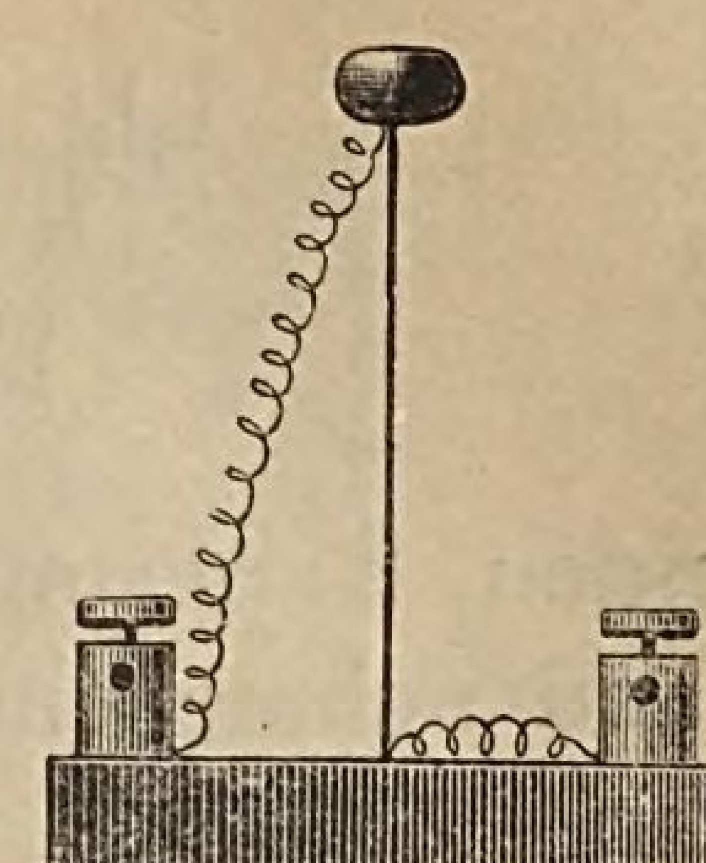


Fig. 249.

Länge in ein Brettchen schlägt, mit einer Drahtrolle umgiebt und am Kopfe eine schwere Masse, etwa eine Bleikugel befestigt.

d. Selbst eine Drahtrolle mit feinem Draht, auf ein Brettchen geleimt, (Fig. 248) dient als Empfänger, wofern die Windungen locker aufeinander sitzen; sind sie dicht gewunden und stellt man einen weichen Eisenstift oder eine magnetisierte Nähnadel in die Rolle, so spricht sie auch.

e. Sogar ein in ein Brettchen geschlagener weicher Nagel mit beschwertem Kopfe spricht, wenn man die Stromwellen des Mikrophons durch ihn hindurchleitet; man hält das tannene Brettchen an das Ohr. (Fig. 249.)

f. Der sprechende Handschuh. (Fig. 250.) Ersetzt man beim Versuche mit dem Kondensator diesen durch zwei Handhaben und nimmt von zwei Personen jede eine Handhabe in die Hand und halten sie die andere Hand, mit einem Glacéhandschuh bedeckt, einer dritten Person an die Ohren, so wird diese die Worte hören, die man ins Mikrophon spricht. Statt der Handschuhe können die

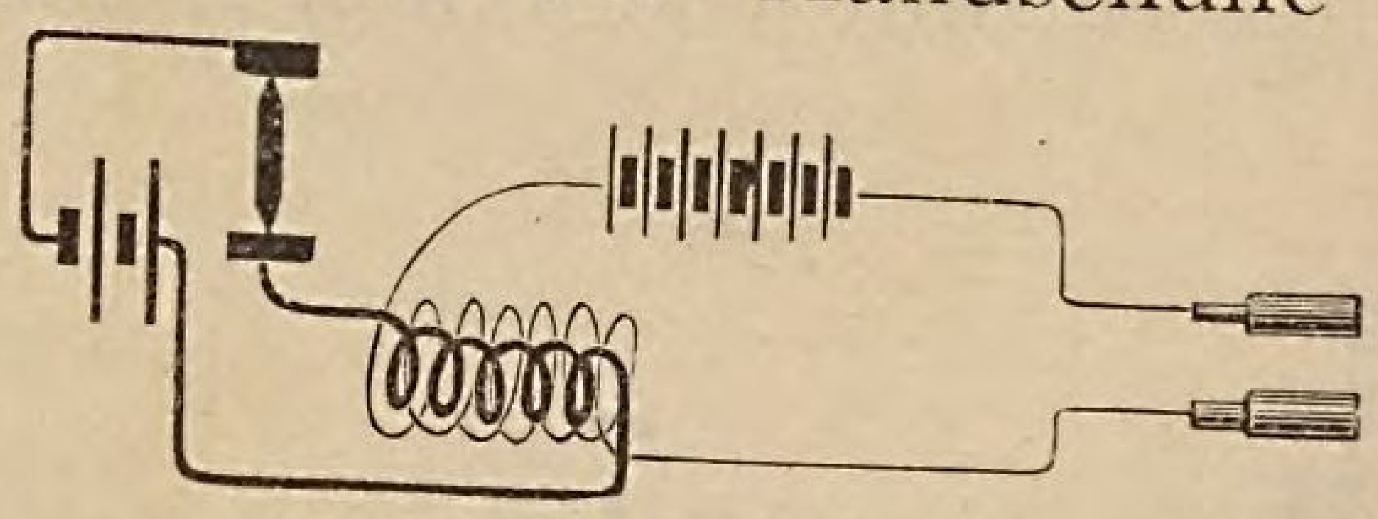


Fig. 250.

beiden Experimentatoren ein Stück Papier in die Hand nehmen und dieses der dritten Person an die Ohren halten.

Eine vollständige Mikro-Telephonstation mit Läut-Induktor.

(Fig. 251.) Das Mikrophon M ist Sender, der Induktor J mit Doppel-T-Anker ist Anrufapparat (Kapitel XIV). Die Linie L ist an den zweiarmigen Hebel H geführt, welcher in der Ruhelage durch das Gewicht des Telephons rechts nach aufwärts gedrückt wird und dabei mit der Kontaktfeder a in Berührung kommt. An diese Feder ist das aus dem Induktor J und der Klingel K bestehende Läutwerk angeschlossen. Wird das Telephon abgehängt, so wird der Hebel durch die Feder F rechts nach abwärts gezogen und kommt mit der Kontaktfeder b in Berührung, welche

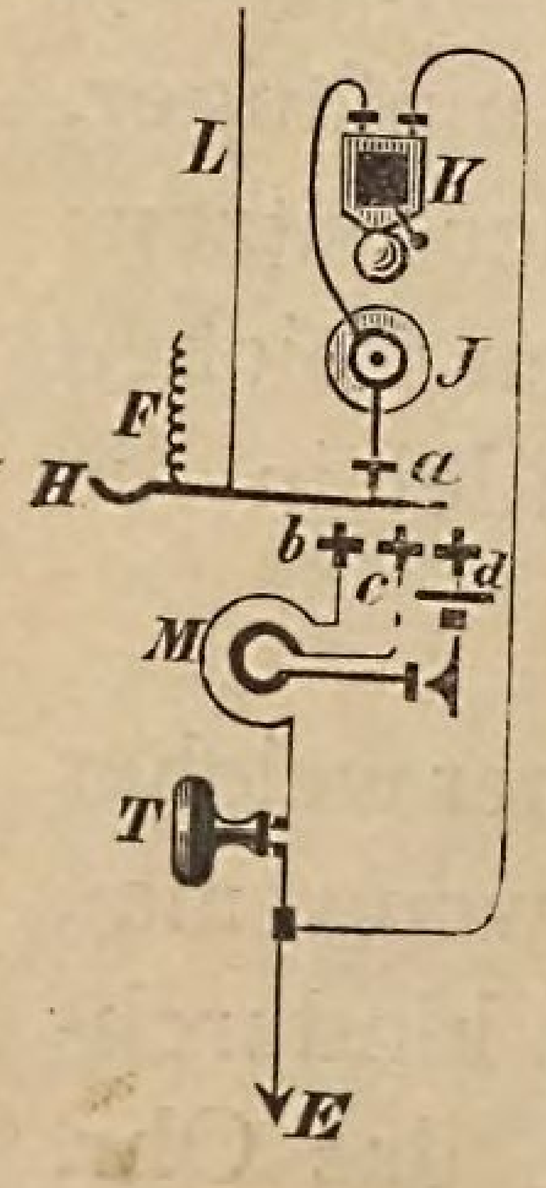


Fig. 251.

zu der Induktionsspule des Mikrophons M und zum Telephon T führt. Durch Abhängen des Telephons wird also automatisch die Linie von der Verbindung mit dem Anrufapparat losgelöst und mit dem Sprechapparat verbunden. Zu gleicher Zeit wird der Batteriestromkreis an den Federn c und d durch den Hebel geschlossen und bei Aufhängen des Telephons wieder geöffnet.

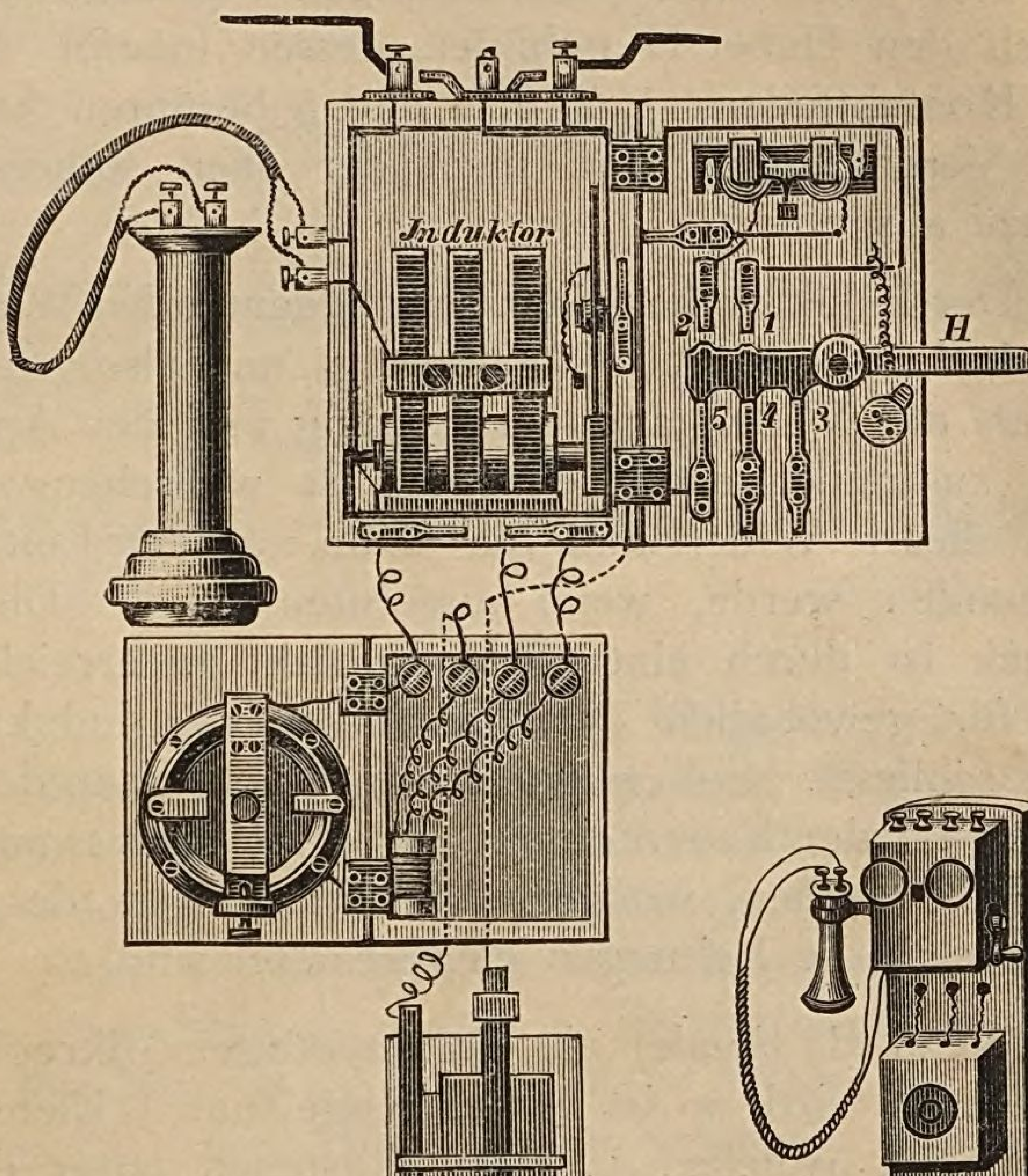


Fig. 252a. Fig. 252b.

Fig. 252 a u. b. Die einzelnen Bestandteile sind auf ein Brett montiert, das an der vertikalen Zimmerwand festgeschraubt wird. Oben kommt das Induktionskästchen mit der Klingel, dem Induktor und dem Umschalter samt Haken zum Aufhängen des Telephons zu liegen. Darunter ist das Mikrophon befestigt und zu unterst das Batteriekästchen.

Der Umschalter (innere Ansicht Fig. 252 a) wird durch den Hebel H gebildet, dessen innerer Arm die Kontaktfedern 1, 2, 3, 4 und 5 berühren kann. Die Verbindungen sind nach der oben stehenden Skizze ausgeführt.

Der Induktor hat einen sehr bedeutenden Widerstand, der etwa 1000 Ohm beträgt, und also grösser ist als der Widerstand der Leitung und der Apparate zusammengenommen. Es ist wünschenswert, dass dieser Widerstand nur dann mit der Leitung verbunden werde, wenn angerufen wird. Dieser Zweck ist durch einen Federkontakt zu erreichen, der für gewöhnlich die Windungen des Induktors kurz schliesst. Soll geläutet werden, so kann durch Druck auf den Federkontakt der kurze Schluss unterbrochen werden, wodurch die Windungen des Induktors in die Leitungen eingeschaltet sind.

Wenn als Sender ein einkontaktiges Mikrophon verwendet wird, so ist in der Regel nur 1 Element notwendig, welches in dem Kästchen unter dem Mikrophon untergebracht ist. Dieses Kästchen wird zu gleicher Zeit als Schreibpult benützt, damit man während des Sprechens Notizen machen kann (Fig. 252 b).

Telephonverbindung mit einem fahrenden Eisenbahnzug.

a. Das Prinzip. Fig. 253. Zum Teil nach Dr. Eichhorn in „Prakt. Physik“. Der Apparat, dessen Prinzip von L. Phelps herrührt und mit dessen Hilfe man von einer Station nach einem fahrenden Eisenbahnzug und umgekehrt telephonische Zeichen geben kann, ist in Fig. 253 schematisch skizziert:

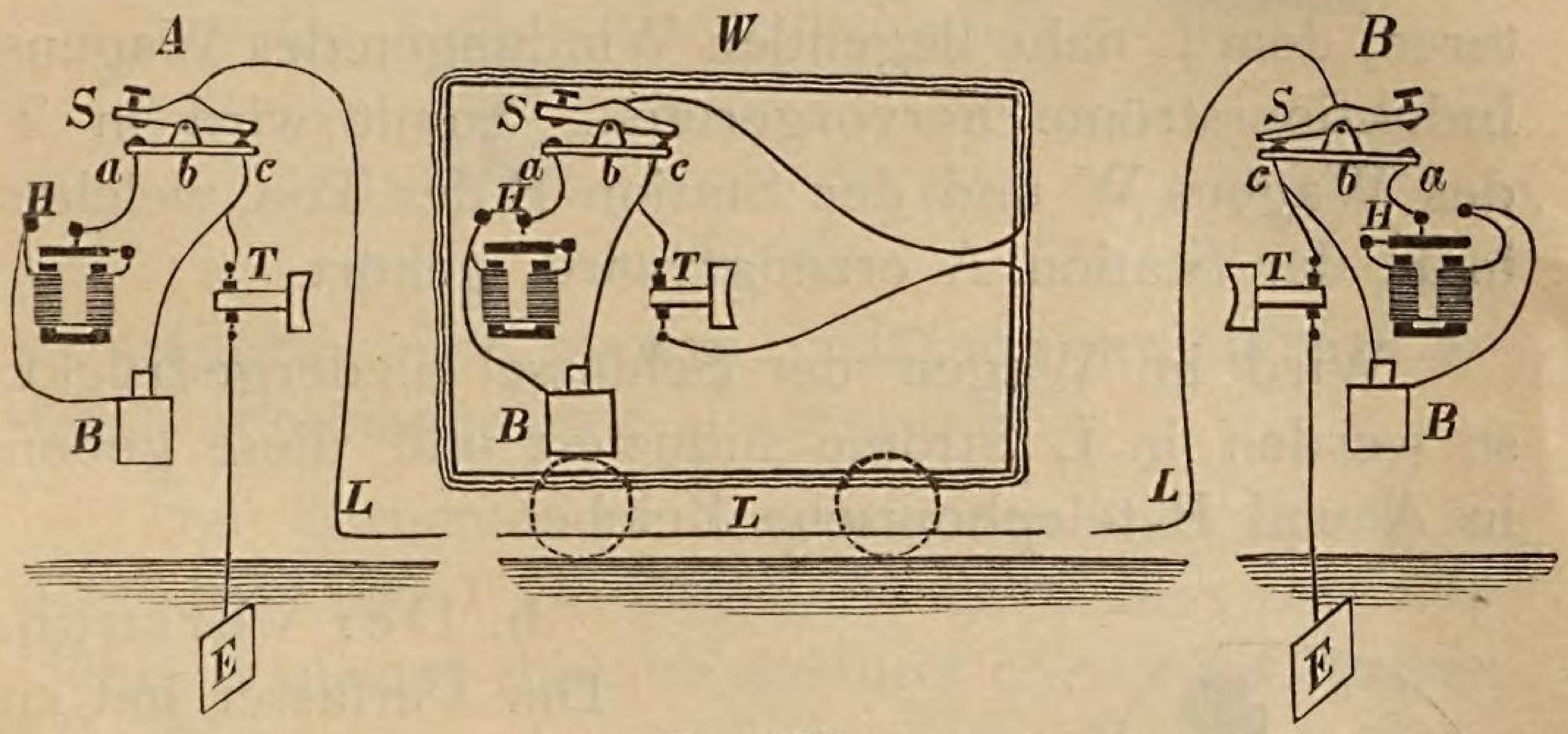


Fig. 253.

Auf Station A, B und im Wagen W befinden sich folgende Apparate: eine Batterie B, ein Wagner'scher Hammer H, dessen Anker so schnell schwingt, dass er einen deutlich wahrnehmbaren, nicht zu tiefen Ton giebt. Vom Hammer in A führt die Leitung nach dem hinteren Ende a des Morseschlüssels S, von der Mitte b dann weiter nach Station B. Diese Leitung L liegt zwischen den Schienen, also unter dem Wagen W des fahrenden Zuges. Vom zweiten Pol der Batterie führt ein Draht nach dem vorderen Ende c des Schlüssels und zum Telephon und endlich zur Erdplatte E.

Um einen der Wagen W ist in der Längsrichtung ein übersponnener Draht in mehreren Windungen hergeführt, so dass die unter dem Wagen liegenden Windungen der Leitung L möglichst nahe liegen. Die Enden der Drähte führen in das Innere des Wagens; siehe Figur.

Wird in A der Schlüssel niedergedrückt, so fliesst der Strom um den Hammer und durch L; der Hammer schwingt und dadurch werden in den unteren, dem L nahe liegenden Windungen des Wagens Induktionsströme hervorgerufen. Somit wird in T des Wagens W und der Station B der Ton, welcher in H der Station A erzeugt wird, gehört.

Wird im Wagen der Schlüssel niedergedrückt, so werden in L Ströme induziert und diese geben in A und B telephonische Zeichen.

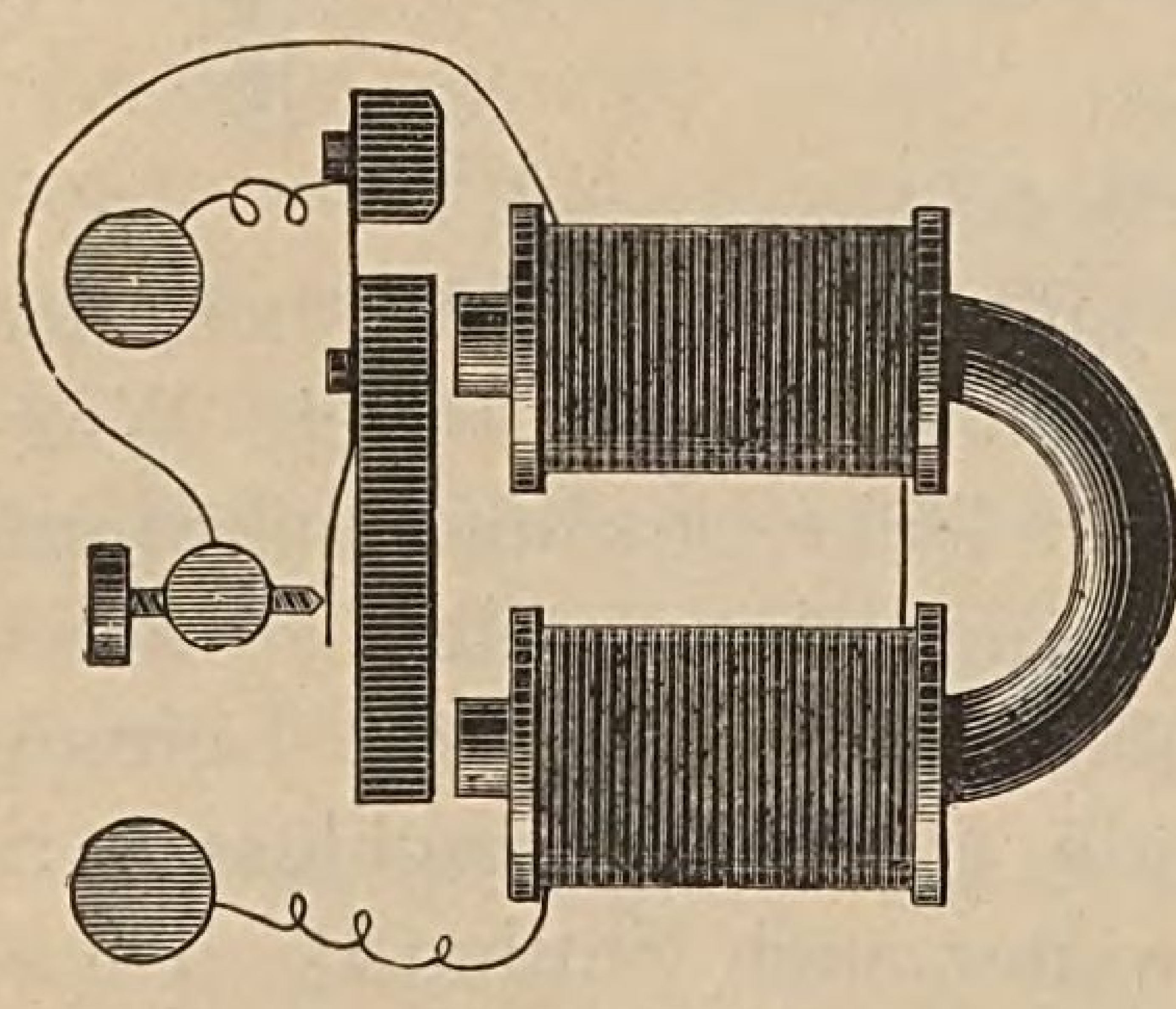


Fig. 254.

b. Der Versuch. Der Verfasser hat zu diesen Versuchen den in Fig. 254 in natürlicher Grösse abgebildeten Hammer konstruiert oder auch die elektrische Stimmgabel benutzt. Fig. 255. Die 3 Drahtlagen des Wagner'schen Hammers bestehen aus Draht von 0,5 mm Dicke und sind direkt auf das Eisen gewickelt. Die Rolle der elektrischen Stimmgabel hat 10 bis 12 Lagen, der Draht ist 0,3 mm dick, mit Baumwolle

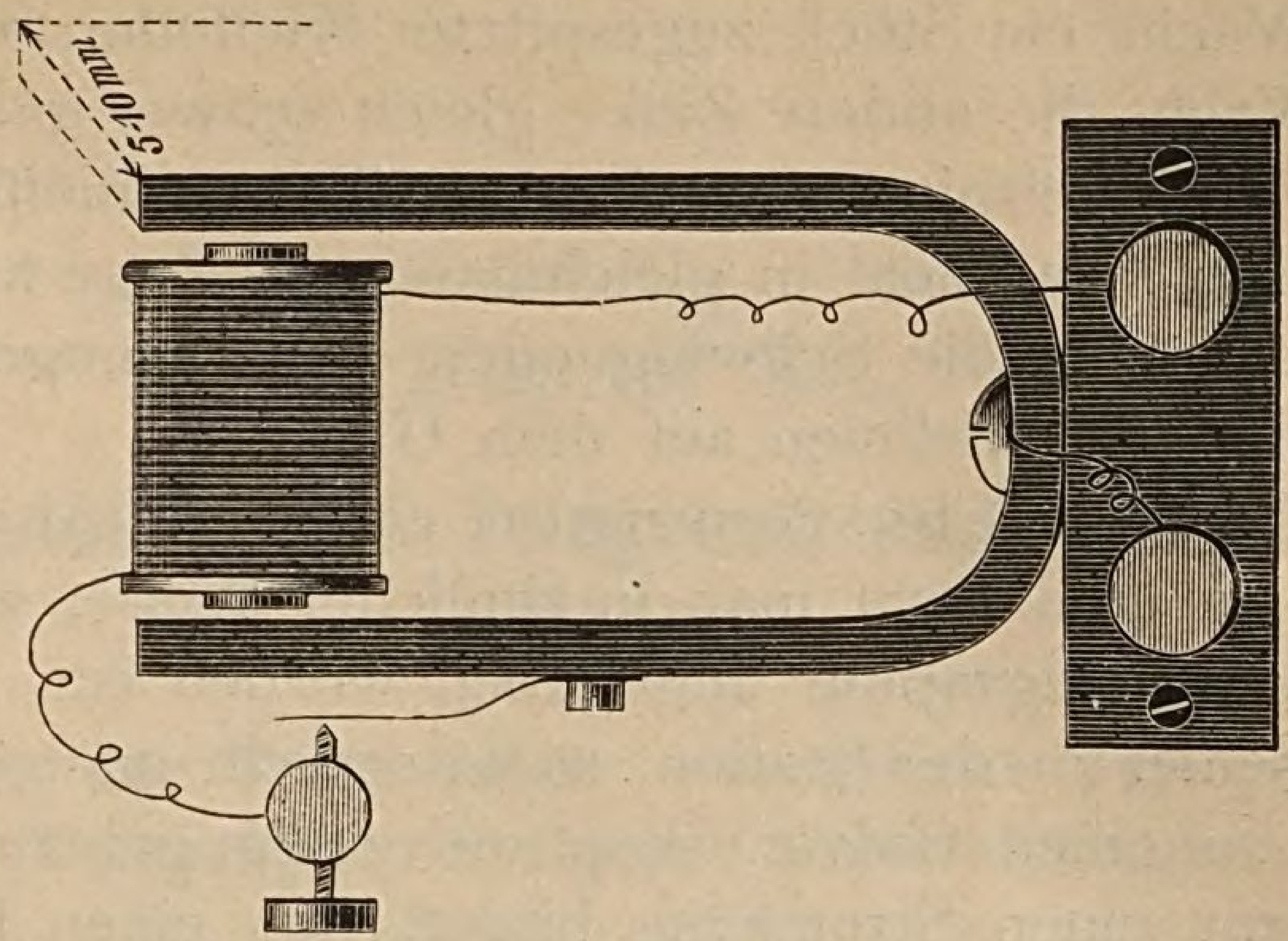


Fig. 255.

umsponnen. Die weitere Erklärung ergiebt sich aus der Beschreibung der „Läutwerke“.

Der Wagen kann dargestellt werden durch ein Brettchen von 1 cm Dicke, 12 cm Länge und 8 cm Höhe, dem man durch Seitenbrettchen aus Cigarrenholz Nuten von 1 cm Tiefe giebt; in diese Nuten wickelt man Draht von 0,3 mm Dicke in etwa 50 Windungen und führt die Enden zu Polklemmen, die man in die Seiten des Brettchens einschraubt; statt der Station B und Erde führt man einen zweiten Leitungsdraht in ziemlicher Entfernung von L zum Element zurück.

Verschiebt ein Gehilfe die Vorrichtung über L und hält er ein Telephon ans Ohr, so vernimmt er die Morsezeichen, die durch den Hammer in A gegeben werden. Vergleiche: Telegraphieren mit Klingeln und Morseschlüssel.

c. Kittet man an eine Zinke der Stimmgabe

mit Wachs ein Stück zugespitzter Kielfeder, belastet mit Wachs die andere Zinke gleich schwer und zieht unter der Kielspitze ein mit einer Terpentinölflamme berusstes Glaslineal in gleichmässigem Zuge hinweg, so erscheinen die Schwingungen der Stimmgabel in lichten Zickzacklinien auf dem Glase.

d. Betriebsstörungen einer Telephonanlage untersucht man in ähnlicher Weise, wie bei der Haustelegraphie angegeben worden ist. Liegt der Fehler in der Station, so untersucht man, indem man aus einem Galvanoskop und einem galvanischen Element einen Stromkreis bildet, den einen Pol an den Telephonhebel und mit dem anderen Pol die verschiedenen Kontakte berührt.

Kapitel XII.

Der elektrische Telegraph und elektrische Uhren.

Zweck der Telegraphie; wesentliche Teile einer Telegraphen-Station. Nadeltelegraph.

Die Telegraphie hat, wie ihr Name dies andeutet, den Zweck, zwischen zwei mehr oder weniger von einander entfernten Orten Zeichen zu übermitteln.

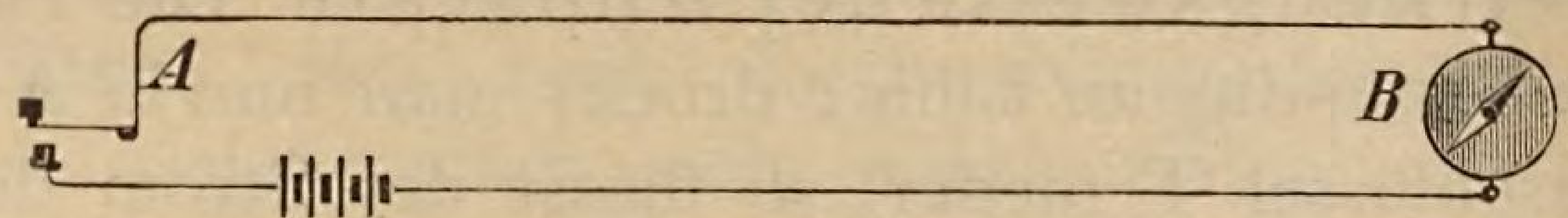


Fig. 256.

Wenn zwei Stationen A und B (Fig. 256) durch eine Schleife von metallischem Draht verbunden sind, in welche eine galvanische Säule, bei A ein Schlüssel und bei B ein Galvanoskop eingeschaltet sind, so wird, so oft in A der Schlüssel niedergedrückt wird, die Nadel in B den Durchgang eines Stromes anzeigen. Hat man sich über die Schliessungen und Unterbrechungen zum voraus verständigt, so wird die Station A in B eine Reihe von Mitteilungen machen können. Diese Anordnung würde nur gestatten, Zeichen nach einer Richtung zu senden, was jedoch im allgemeinen nicht genügt.

Daher ist jede Station ausgerüstet 1) mit einem Taster oder Geber T (Fig. 179), der es er-

möglicht, Zeichen abzuschicken; 2) mit einer galvanischen Säule P; 3) mit einem Galvanoskop G als Empfänger, das den Durchgang des Stromes anzeigt und 4) mit einer Anrufklingel. (Fig. 257.)

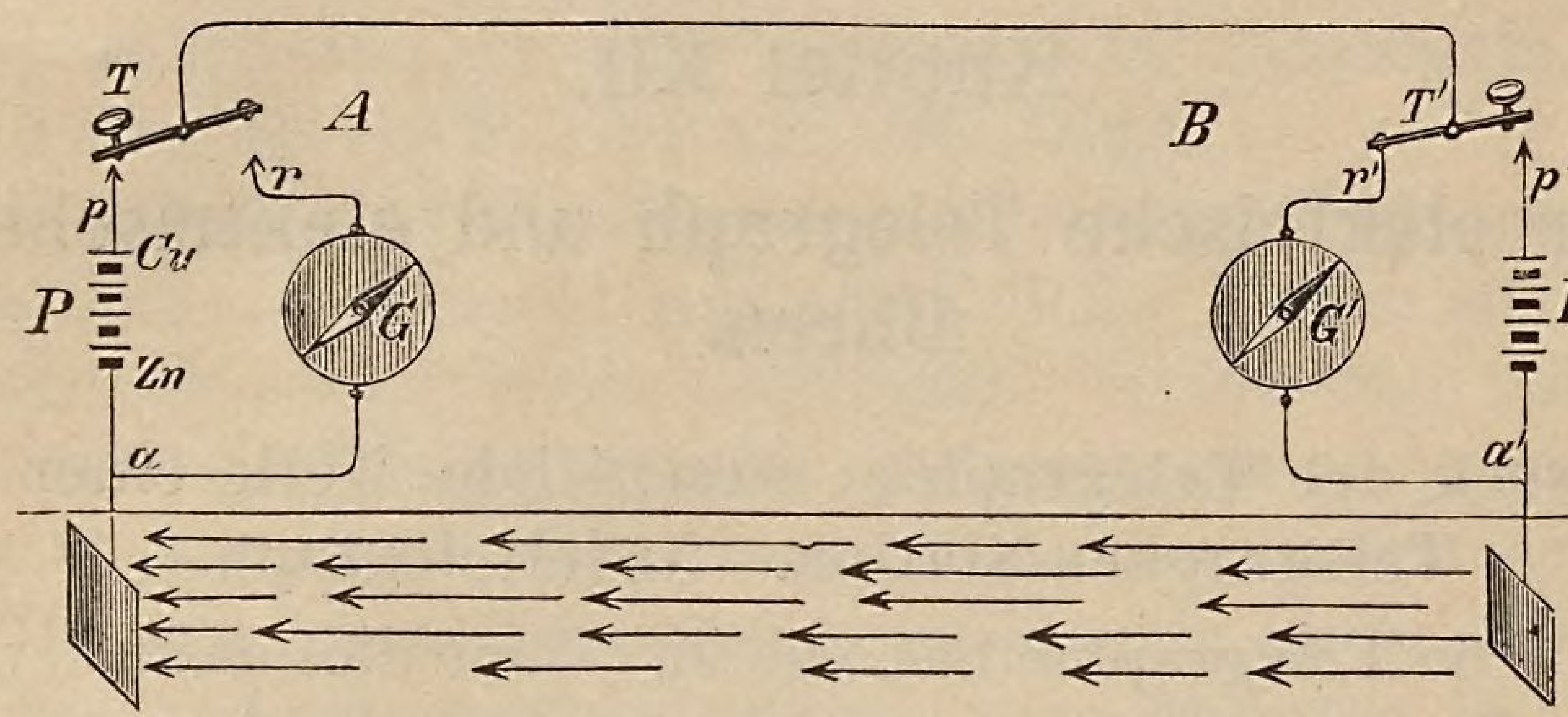


Fig. 257.

W i r k u n g s w e i s e d e r A p p a r a t e. Die Taster liegen beständig an Linie; drückt man nun in A den Morseschlüssel T nieder, so fliesst der Strom durch diesen Kontakt zur Linie über r' G' zur Erde; die Nadel in G' weicht ab; die Säule P' tritt dabei nicht in Thätigkeit.

B e m e r k u n g. Die Pfeile zwischen den beiden Erdplatten deuten zwar einen rückkehrenden Strom an; allein diese Anschauung soll nur zum ersten Verständnis dienen. Bei Wasser kann man indessen an Stromlinien denken.

Zur Beobachtung dieser N a d e l a u s s c h l ä g e benützt man bequemer das später beschriebene V e r t i k a l g a l v a n o m e t e r und beschränkt dessen Ausschläge nach rechts und links durch eingeschlagene Stifte auf etwa 30° und sendet mittels eines Umschalters W e c h s e l s t r ö m e. (Fig. 258.)

Dieser S t r o m w e n d e r besteht aus vier federn-

den Messingstreifen von 1 mm Dicke, 1 cm Breite und 10 cm Länge. B′ liegt auf dem Grundbrett, die andern sind aufwärts gebogen, A und A′ legen sich leitend an B und tragen am Ende Knöpfe von Holz oder Porzellan. Zu Bund B′ sind die Leitungsdrähte der Batterie geführt und zu A und A′ die des Galvanoskops.

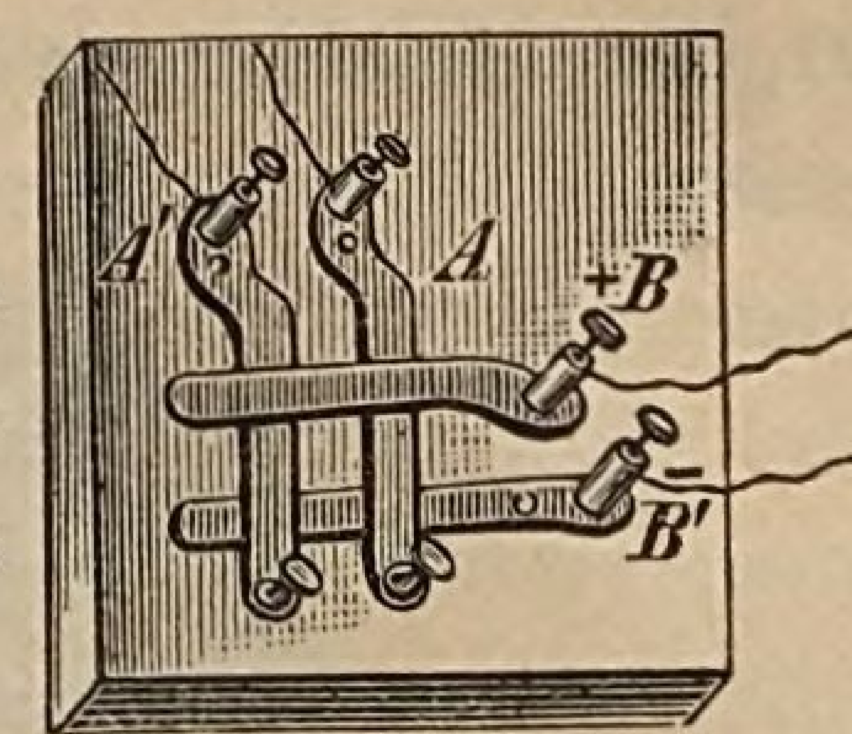


Fig. 258.

Stromlauf. Wird A′ niedergedrückt, so fliesst der positive Strom von B über A durchs Galvanoskop zurück über A′ und B′ zum Zink; drückt man bei A, so fliesst der positive Strom von B nach A′ durchs Galvanoskop über A nach B′ zum Zink. Man wird die Zuleitung zum Galvanoskop so einrichten, dass beim Rechts-Niederdrücken der Nadelausschlag auch nach rechts erfolgt.

Aus diesen Ausschlägen nach rechts und links lässt sich die Schrift so zusammensetzen: Ausschlag nach rechts r entspreche in der Morseschrift einem Punkt und der Ausschlag nach links l einem Strich:

a	b	c	d	e	f	g	h	i
lr	rlll	rlrl	rll	l	llrl	rrl	llll	ll

j	k	l	m	n	o	p	q
lrrr	rlr	lrll	rr	rl	rrr	lrrl	rrll

r	s	t	u	v	w	x	y	z
lrl	lll	r	llr	lllr	lrr	rllr	rlrr	rrll

1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
rllll	rrlll	rrrll	rrrrl	rrrrr	lrrrr	llrrr	lllrr	llllr	lllll

Wie diese Telegraphie auf dem Auge beruht, so lässt sich mit dem **Klopfer** eine Fernzeichengebung für das Ohr einrichten.

Die Fig. 259 stellt etwa die halbe wirkliche Grösse dar. Die eine der Polklemmen des Elektromagneten ist mit einem Pol der Batterie verbunden; in die Leitung des andern Batteriepols zur andern

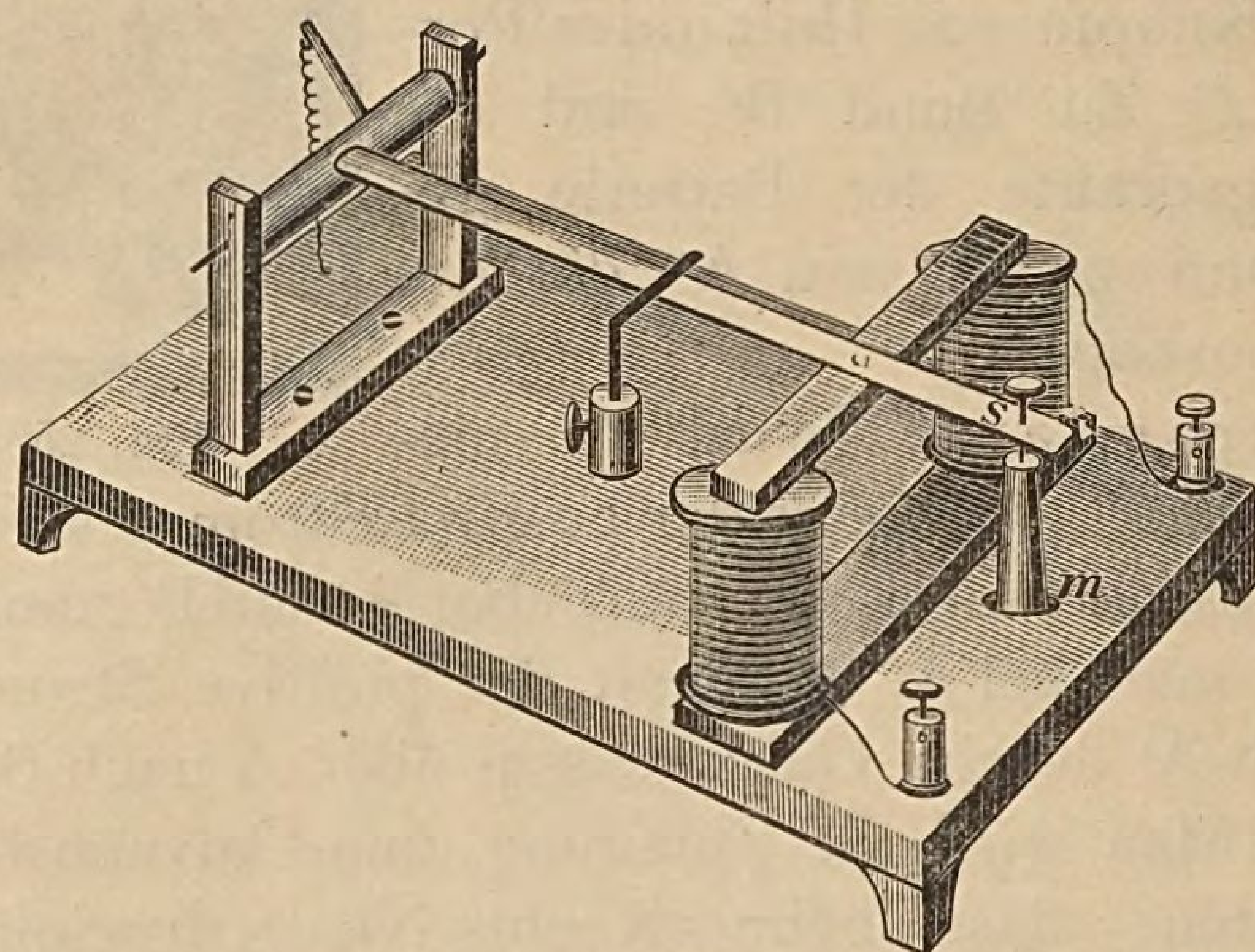


Fig. 259.

Polklemme des Elektromagneten ist ein Schlüssel (Fig. 179 und 180) eingeschaltet. Die Träger der Welle können aus einem 2 mm dicken und 1 cm breiten Messingstreifen umgebogen werden. Der Stift S schlägt auf die Messingsäule m auf, so oft der Strom geschlossen wird. Um einen tönenderen Schlag zu erhalten, wählt man den Hebelarm sehr stark.

Die Schrift ist die Morseschrift. Alle Vorschriften für Mitteilungen mit Klingeln gelten auch hier: die Zeichen müssen mit der grössten Genauigkeit und Regelmässigkeit erfolgen, wenn man Punkte und Striche unterscheiden soll. Diese Art der Korrespondenz erheischt viele Übung, wird aber selbst im öffentlichen Dienst angewendet. Sie eignet sich besonders zu vorübergehenden Einrichtungen. Ein

gut eingerichteter Klopfer erfordert auf ziemlich weite Strecken nur ein kleines Element zum Betriebe, so dass man Klopfer und Element bequem in der Tasche tragen kann. Bei weiteren Entfernungen werden, wie bei Läutwerken, die Elektromagneten mit feinerem Draht (0,3) umwickelt als bei kürzeren (0,5). Klingeln zum Anrufen sind entbehrlich, da ein rasches Schliessen des Stromes den Korrespondenten aufmerksam macht, wenn er sich in der Nähe befindet. — Der vollständige

Morse-Schreiber (1844)

(Fig. 259a) erfordert ein Uhrwerk, das den Papierstreifen regelmässig abwickelt und vor den Schreibstift führt; wir beschränken uns daher auf die Be-

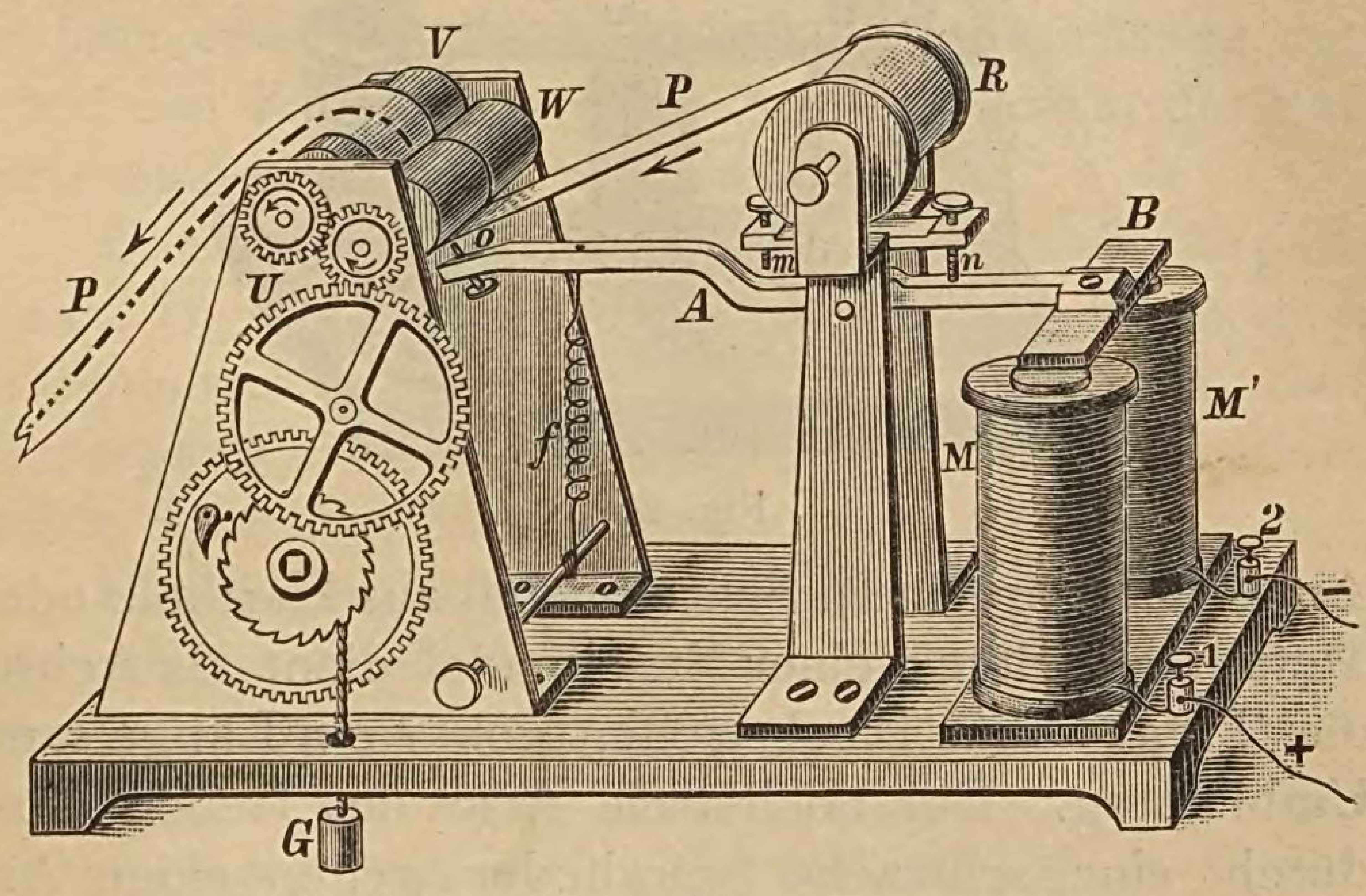


Fig. 259a.

Morse-Stiftschreiber. AB Schreibhebel. MM' Elektromagnet. 1 2 Polklemmen. R Papierrolle. m n Begrenzungsschrauben. o Schreibstift. VW Walzen. pp Papierstreifen. f Spiralfeder. U Uhrwerk. G Gewicht.

schreibung eines sehr wohlfeil herzustellenden Modells, das zum Verständnis des Wesens dieser Art telegraphischer Mitteilung ausreicht. Indessen wird der Vorgeschrittenere in der Konstruktion elektrischer Apparate das Uhrwerk durch einen der später zu erklärenden Elektromotoren zu ersetzen imstande sein.

Fig. 260. Die Kerne des Elektromagneten sind 5 cm lang und 7 mm dick, das Verbindungsstück oder Joch, in das sie eingeschraubt oder eingenietet sind, ist 5 cm lang, 1 cm breit und $\frac{1}{2}$ cm dick. Auf jede Holzrolle sind 20 m übersponnenen Kupferdrahts von 0,4 bis 0,5 mm Dicke gewickelt. Der

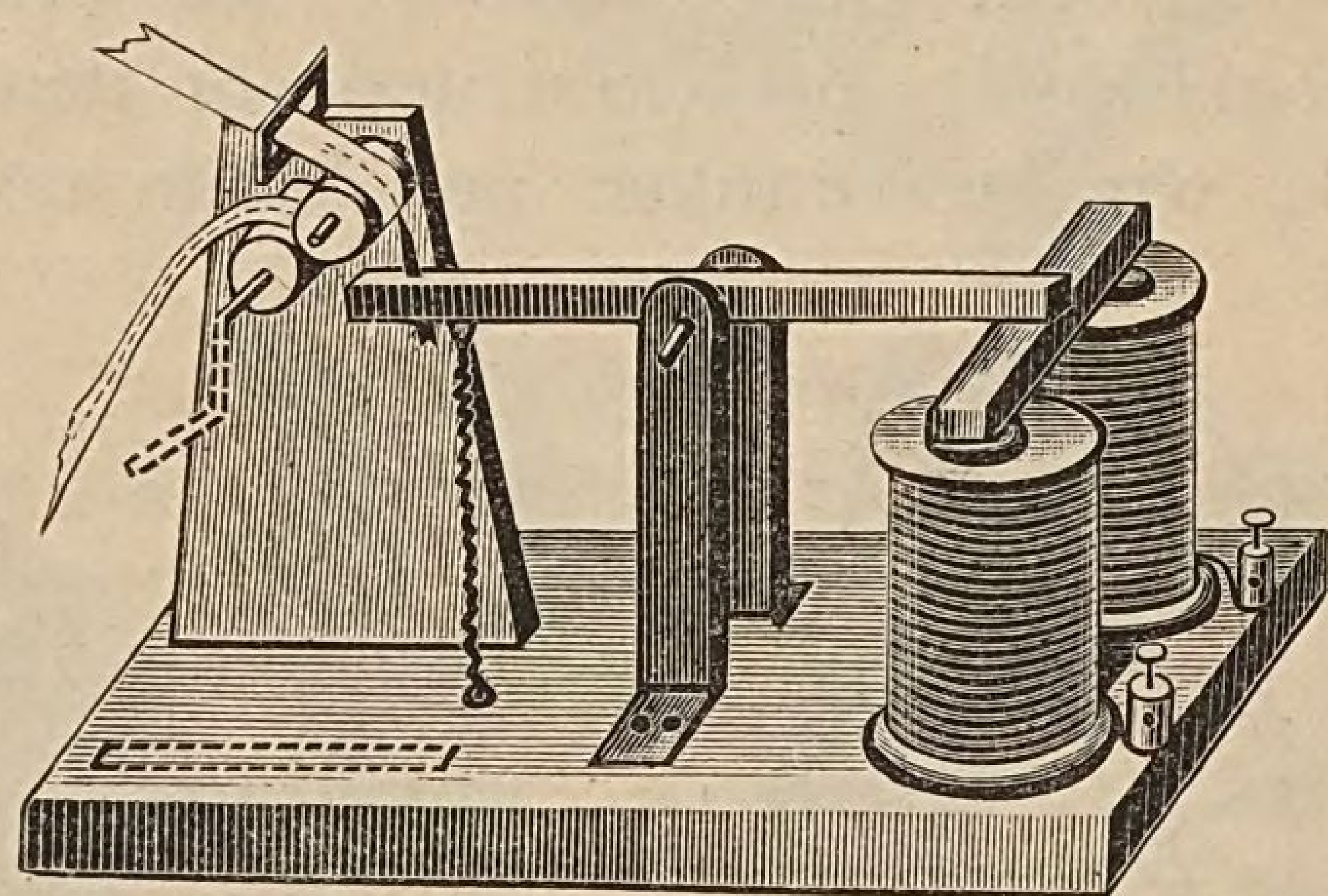


Fig. 260.

Anker sitzt an einem Schreibhebel aus Hartholz oder Metall; ein Stück einer Stricknadel dient als Achse, die Träger sind Blechstreifen von 7 cm Länge samt Umbiegung. Der noch freie Arm des Hebels wird durch eine schwache Spiralfeder gegen einen Anschlag herabgezogen. Die obere Walze (aus Holz, Messing, Blei) ist 4 cm lang, 2 cm dick und ruht mit ihrer Achse auf zwei metallenen Trägern in schiefen Schlitzen, so dass sie durch ihr eigenes Ge-

wicht auf die untere Walze gedrückt wird; sie hat in der Mitte eine ringsumlaufende Rinne, in welche der durch den linken Hebelarm geschraubte Schreibstift passen muss. Die untere Walze ist 5 cm dick, ein klein wenig länger als die obere Walze und mit Tuch überzogen; durch eine an ihre Achse gebogene Kurbel kann sie umgedreht werden. Man bringt zuerst die untere Walze zwischen ihre Träger, versucht, ob durch ein galvanisches Element der Schreibstift (kann auch ein harter Bleistift sein) auf Papier deutliche Zeichen macht und bringt dann die andere Walze darüber an. Das Papier läuft durch den wohl geglätteten Schlitz einer 2 mm dicken Blechscheibe. Wie schnell man die Kurbel zu drehen hat, wird am besten aus der Länge der Punkte und Striche ersehen, die man beim Niederdrücken des, wie beim Klopfer, in einen Zuleitungsdraht der Batterie eingeschalteten Schlüssels erhält.

Elektromagnet für den Morse-Telegraphen im öffentlichen Dienst. Das Eisen muss vollkommen ausgeglüht sein und darf nach dem Durchgang eines Stromes von 100 Callaud-Elementen keine Spur von Magnetismus zeigen.

Die Rollen sind aus Kupferdraht gewunden, der mit weisser Seide bedeckt ist und 90 % Leistungsfähigkeit vom reinen Kupfer besitzt. Jede Rolle besteht aus 7000 Windungen eines Drahtes von 0,21 mm Durchmesser und von nicht über 250 Ohm Widerstand; die äussere Lage ist aus Draht von 0,44 mm Durchmesser gewickelt. Die Wanddicke einer Rolle darf 1 cm nicht überschreiten. Die fertige Rolle ist mit einem Firnis aus Judenpech überzogen.

Beide Rollen müssen dieselbe Windungszahl haben und ihre Widerstände dürfen nicht über 4 Ohm verschieden sein.

Verbindung von 2 Telegraphen-Stationen. Arbeitsstrom, Ruhestrom.

a. Arbeitsstrom ohne Relais Fig. 260 a. Wenn in der Aufgabestation I der Schlüssel S (Fig. 170) niedergedrückt wird, fliesst der Strom durch die Linie L nach II über den Schlüssel S, den Schreibapparat A und durch E zur Erde. So oft also in I Zeichen gegeben werden, wird der Strom in II geschlossen und der Schreibstuhl oder das Farbrädchen überträgt diese Zeichen als Punkte oder Striche auf den ablaufenden Papierstreifen p.

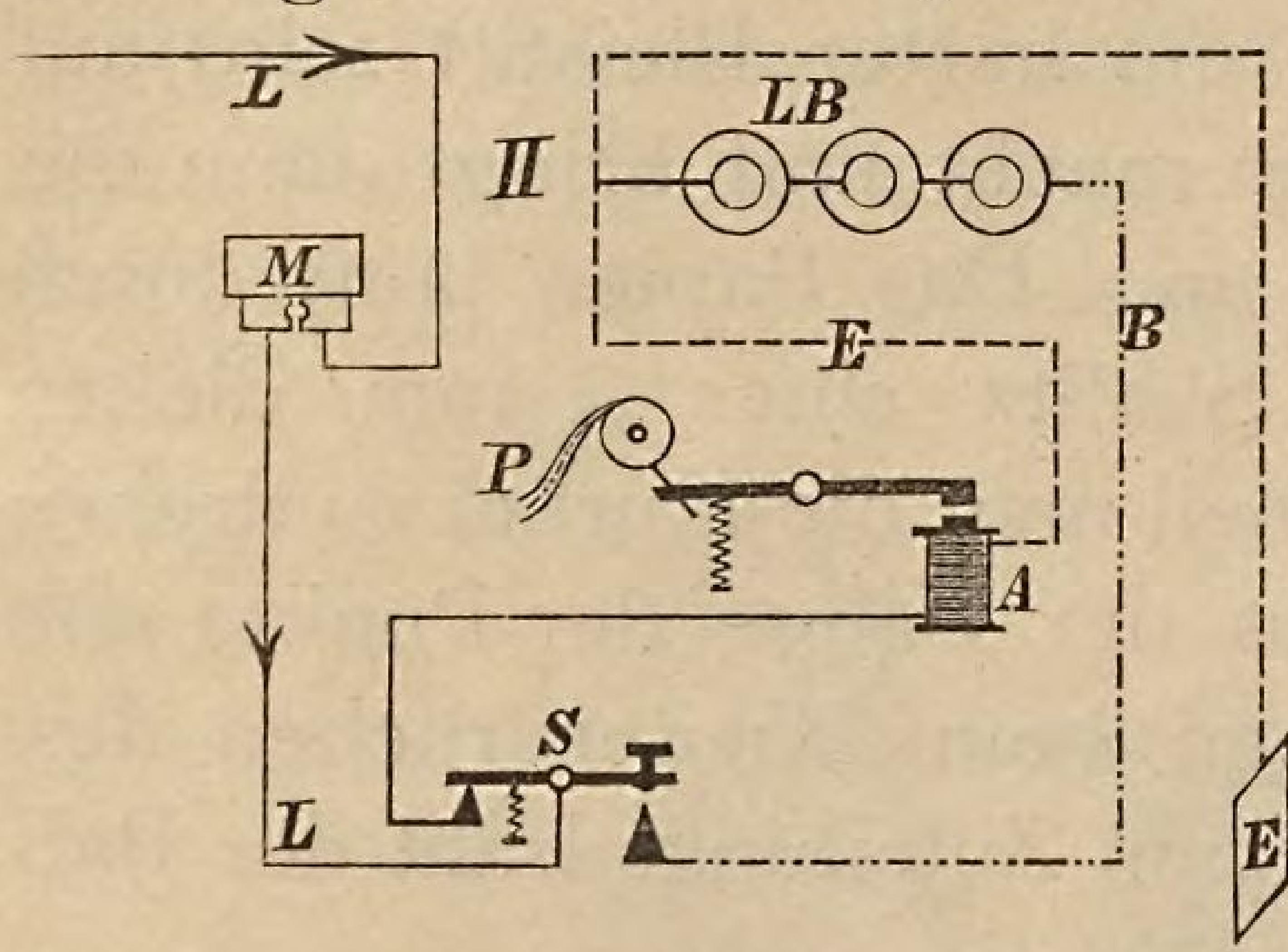


Fig 260 a.

Wird dagegen der Schlüssel in II gedrückt, so fliesst der Strom der Linienbatterie LB über S und über L zurück nach I; der andere Pol der Batterie ist an Erde angeschlossen. Der Multiplikator M, der in die Linie eingeschaltet ist, zeigt dem Telegraphisten den Durchgang der Ströme an (Fig, 262). Der Strom heisst Arbeitsstrom, weil durch seine magnetische Kraft der Anker angezogen und durch die Anziehungen die Zeichen übertragen werden.

b. Arbeitsstrom mit Relais Fig. 261. A deutet wieder den Schreibapparat an, O die mit dem-

selben verbundene Ortsbatterie, R das Relais (Fig. 181), durch welches dieselbe geschlossen und der Schreibapparat in Thätigkeit gesetzt wird. Wenn beide Schlüssel in Ruhestellung sich befinden und dadurch beide Linienbatterien LB L'B' unterbrochen sind, so sind doch die Schlüssel samt dem

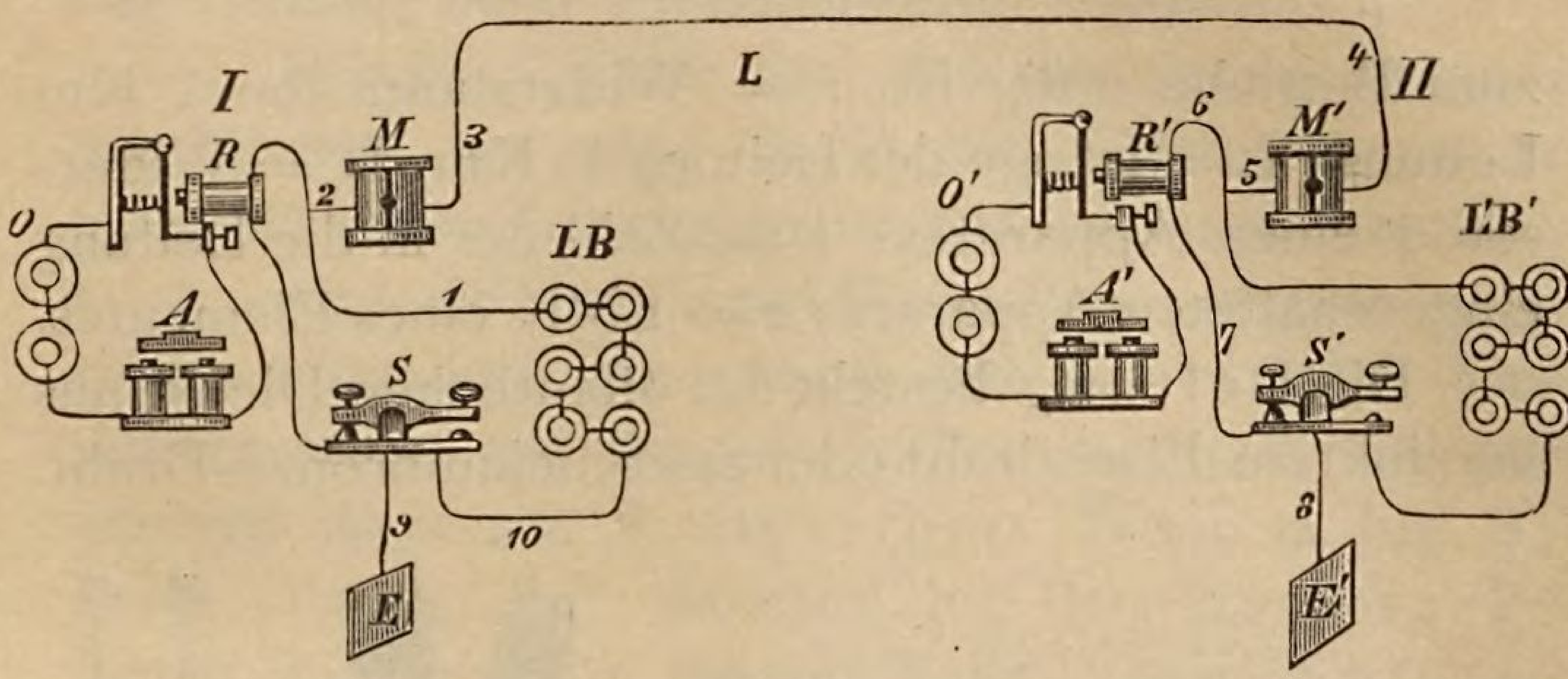


Fig. 261.

Relais so eingeschaltet, dass von einer Station zur andern eine ununterbrochene Leitung vorhanden ist. Drückt man in I den Hebel nieder, so wird die Linienbatterie L geschlossen und der Strom nimmt mit Umgehung des Relais R seinen Weg durch 1, 2, M, 3, 4, M', R', 7, S', 8 und E', während der andere Strom aus L durch 10, S, 9 zu E fliesst. Der Strom muss also R' umkreisen, der Relaisanker wird angezogen, die Ortsbatterie O' geschlossen und der Schreibapparat A' in Thätigkeit gesetzt. Durch Niederdrücken des Schlüssels wird somit die Linienbatterie der sendenden und die Ortsbatterie der empfangenden Station geschlossen, das Relais und der Schreibstift der sendenden Station bleiben in Ruhe

Als Stromerzeuger dienen durchweg galva-

nische Batterien von Daniell'schen, Meidinger'schen oder andern konstanten Elementen, auch Accumulatoren.

Die Zahl Z der Elemente in einer Telegraphenleitung wird berechnet nach der Formel $Z = \frac{i}{e} \cdot (L \cdot r + z \cdot R)$, worin i = Stromstärke, die zum Betriebe nötig ist, r = Widerstand von 1 Km Leitung; L = Länge der Leitung in Km; R = Widerstand eines Apparates; z = Zahl der in die Leitung eingeschalteten Apparate; e = EMK eines Elementes.

Die Leitung besteht im öffentlichen Dienst aus verzinktem Eisendraht oder aus Siliciumbronze-Draht.

R Rahmen;
T. Träger; M Magnetnadel;
Z Zeiger.

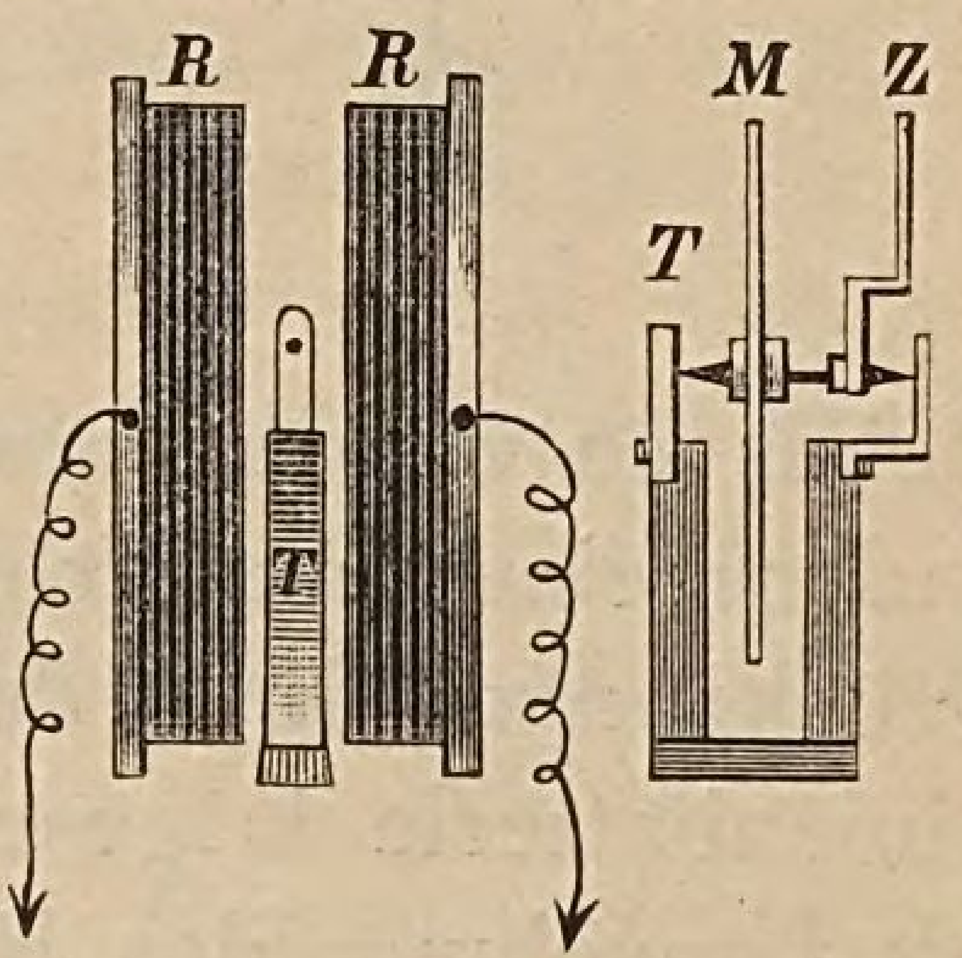


Fig. 262.

Das Vertikalgalvanometer (Fig. 262) für Telegraphenstationen hat noch die für den Nadeltelegraphen früher gebräuchliche Form. Man denke sich das für den Multiplikator beschriebene und mit 3 Lagen seidenbesponnenen Kupferdrahtes gefüllte Rähmchen mit der Oberseite an ein senkrechtes Brettchen befestigt und die rautenförmige Magnetnadel innerhalb des Rahmens auf einer wagerechten Achse (einer Nähnadel mit Siegellack aufgekittet), diese Achse auf

Pfannen zwischen Glashütcheu ruhend und zugleich vor der Kreisteilung einen ebenfalls rautenförmigen Zeiger aus Messingblech tragend.

I und II (Fig. 261) sind die beiden Endämter und sind durch direkte Leitung verbunden; man spricht aber von einer Omnibusleitung, wenn die Leitung noch Zwischenämter enthält.

c. Wird in A der Fig. 256 der Strom dauernd geschlossen, so wird in B die Galvanoskopnadel während dieserZeit abgelenkt; beiStromunterbrechung in A, wird sie ihre Nord-Südstellung wieder einzunehmen streben; man kann also auch durch diese Ablenkungen der Nadel Zeichen übermitteln; man arbeitet dann mit Ruhestrom. Wenn in Fig. 257 beide Taster TT′ dauernd an den Batterien PP′ liegen und wenn in diesem Falle P und P′ hintereinander geschaltet sind, so wird beim Niederdrücken von T in A der Strom unterbrochen, und beide Galvanoskope G und G′ geben gleichzeitig Zeichen.

Schaltungen für Ruhestrom. a. In Fig. 262a hat das Endamt oder die Endstation keine Batterie und kein Relais; der Strom fliesst von der Linie L

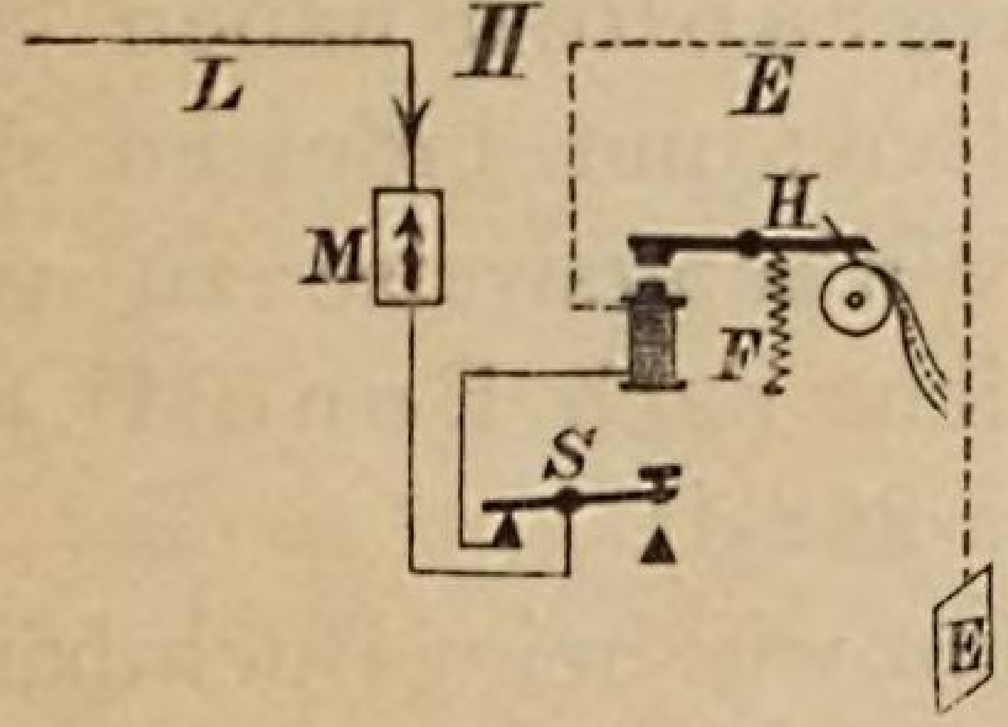


Fig. 262 a.

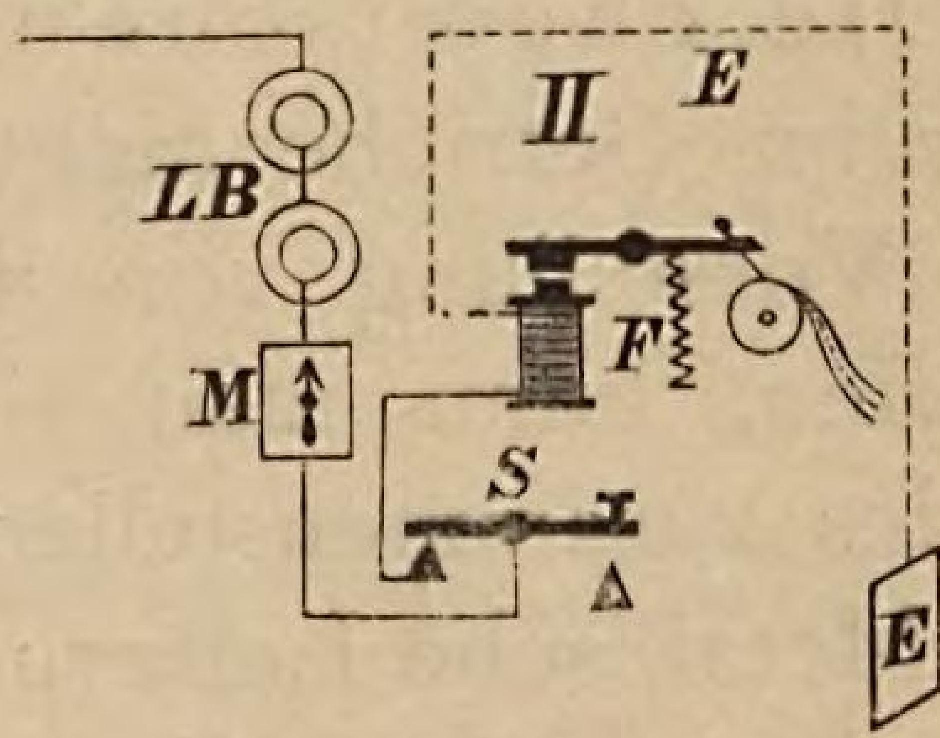


Fig 262 b.

durch den Multiplikator M, die Mittelklemme des Schlüssels S, durch die Vorderklemme um den Elek-

tromagneten zur Erde; der Anker des Schreibers ist also beständig angezogen, bei Stromunterbrechung zieht die Feder F den Hebel H herab; der Schreibstift steht hier über der Walze. Die Arbeit ist in diesem Falle der Feder F überwiesen.

b. In Figur 262b besitzt das Endamt eine Linienbatterie LB, aber kein Relais. Alle Linienbatterien sind wieder hintereinander geschaltet; der Stromlauf ist also derselbe wie in (a,) durch den Schlüssel zum Elektromagneten und zur Erde; wird der Strom in der Linie L unterbrochen, so arbeitet wieder die Feder F während der Stromunterbrechung.

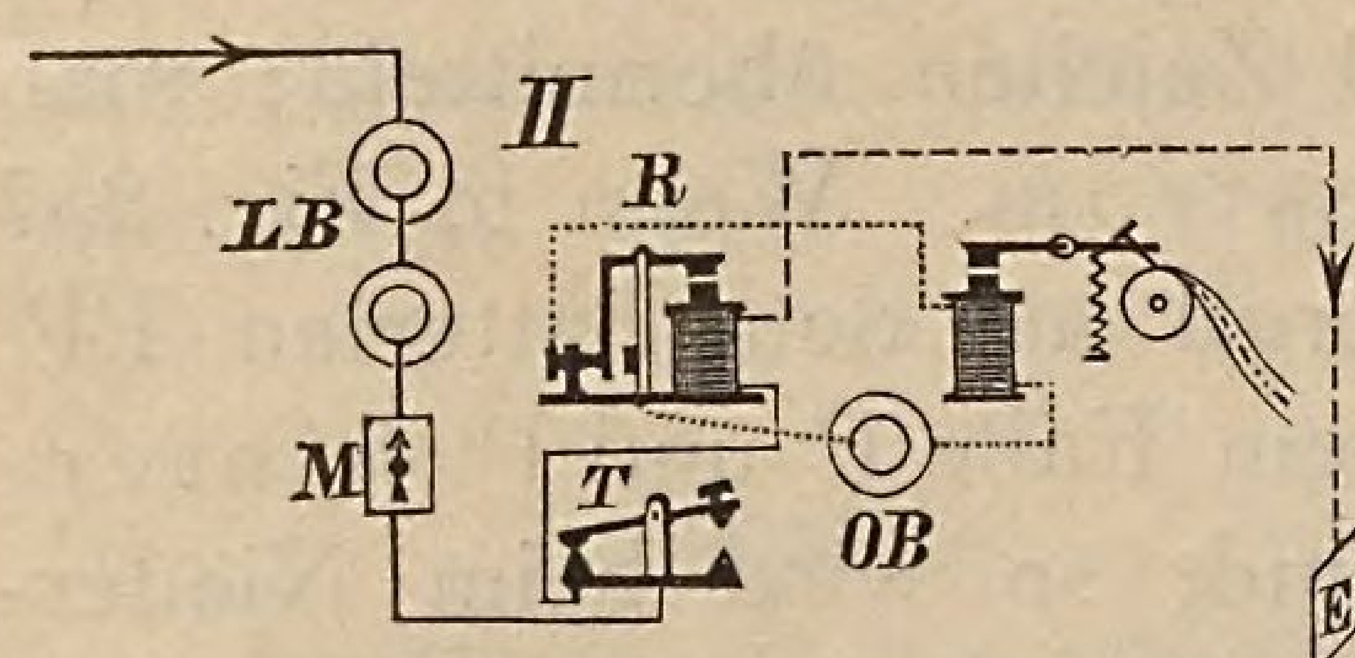


Fig. 262c

c. In Fig. 262 c besitzt das Endamt eine Linienbatterie LB, eine Ortsbatterie OB und ein Relais R (Fig. 181). Der Linienstrom schliesst das Relais über den Schlüssel und der Ortsstrom den Schreibapparat über das Relais. Bei Unterbrechung des Linienstromes wird auch der Ortsstrom (OB) unterbrochen und die Feder F arbeitet wieder wie in (a) und (b).

Die chemischen Telegraphen haben sich zwar im Betriebe nicht erhalten; um indessen sich eine Vorstellung von ihrer Wirkungsweise zu verschaffen, kann man sich leicht nach Bonelli folgendes zusammenstellen (Fig. 262 d).

Metallische Lettern werden wie beim Buchdruck mit den nötigen Zwischenräumen in fortlaufender Linie zusammengestellt (I) und mit einem aus fünf metallischen Spitzen bestehenden Kamm überfahren;

eine jede dieser Spitzen steht isoliert von den andern mit einem besonderen Leitungsdrahte in Verbindung.

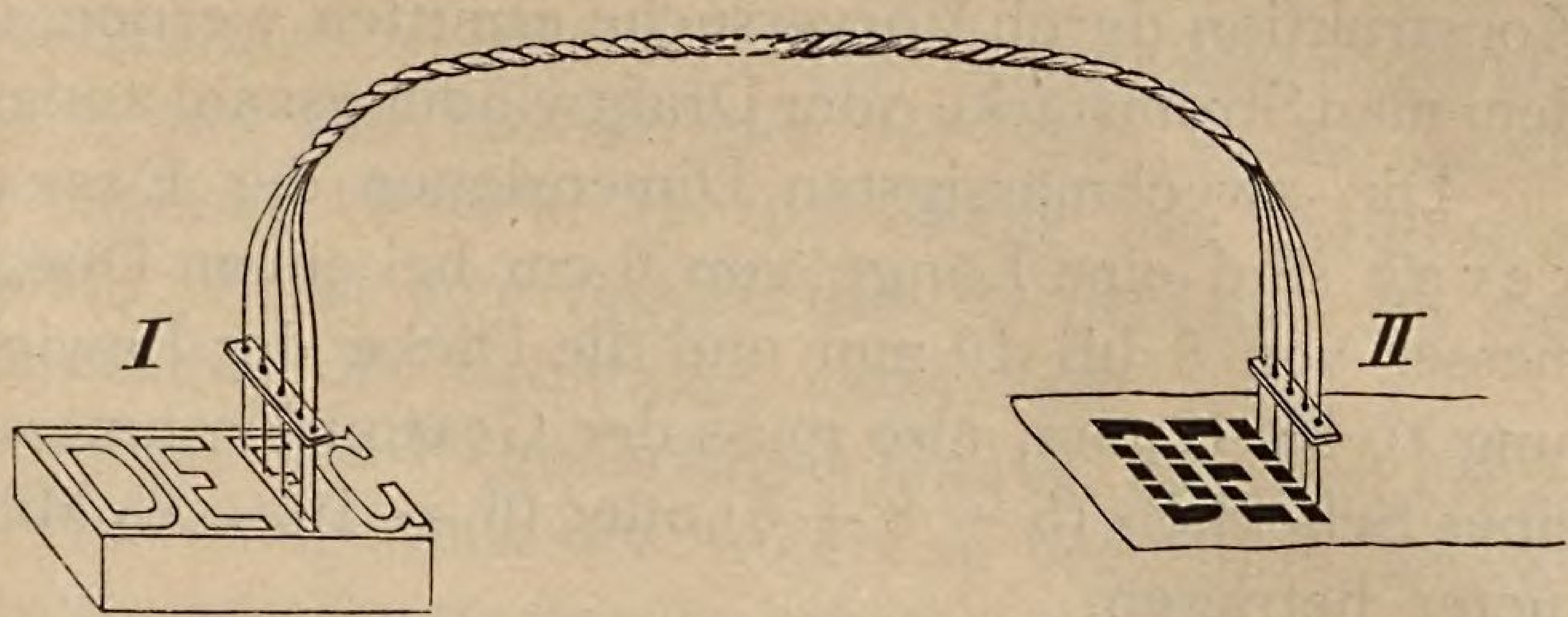


Fig. 262 d.

Auf II stehen diese Leitungsdrähte in Verbindung mit einem zweiten gleichen Kamme, dessen Spitzen auf Papier stehen, das mit einer der in Kap. IV angegebenen Lösungen zu Polbestimmungen getränkt und feucht gehalten ist. Der eine Pol der Batterie ist mit den Lettern, der andere mit einer unter dem Papierstreifen liegenden Metallplatte verbunden.

Der Typensatz und das chemische Papier wurden durch Uhrwerke unter den feststehenden Metallkämmen hindurchgezogen. So oft eine der Metallspitzen eine Type berührt, ist die Batterie geschlossen und es entsteht in dem dieser Spitze angehörigen Leitungsdrahte ein Strom, der auf dem Papier unter der entsprechenden Metallspitze einen farbigen Eindruck erzeugt.

Elektrisches Zeigerwerk; elektrischer Zeigertelegraph.

(Fig. 263.) a. Die bei elektrischen Zeigerwerken gebräuchlichen Drahtstärken wechseln von 0,3 bis

0,6 mm ohne Umspinnung und muss die notwendige grösste Anziehungskraft des Elektromagneten für jede Konstruktion durch Vorversuche ermittelt werden, indem man Stromstärke oder Drahtwindungszahl ändert.

Die zweckmässigsten Dimensionen der Eisenkerne sind eine Länge von 6 cm bei einem Durchmesser von 8 bis 10 mm und die Dicke der Bewicklung 10 bis 12 mm, also muss der Gesamtdurchmesser eines Schenkels (5 + 8 + 5) oder (6 + 10 + 6) Millimeter betragen.

Der Anker soll nicht, oder nicht bedeutend länger sein als die äussere Entfernung der beiden Eisenkerne und seine Masse gross genug, um eine Anziehung aus möglichst grosser Entfernung zu sichern. Die Anziehung des Elektromagneten auf schwere Anker nimmt weniger rasch ab als auf leichte und es ist bedeutend vorteilhafter, den Spielraum des Ankers zu vergrössern, als die geringe Bewegung desselben durch längeren Hebel zu erhöhen. Eisenkerne und Anker verlieren ihren Magnetismus nie sogleich wieder; damit nun der Anker nicht „anklebt“, darf er die Kerne nie berühren. Man versieht darum die Kerne mit kurzen Messingstiften oder Messingplättchen oder man verkupfert den Anker. Quadratische Anker sind den runden vorzuziehen, da ihre Eisenmasse den Polenden näher steht. Vergl. VIII.

b. Das Folgende enthält Angaben über eine Uhr, die aus einer gewöhnlichen in eine elektrische umgewandelt worden ist. Fig. 263.

Der Elektromagnet hat Kerne von 7 cm bewickelter Länge und 9 mm Dicke; der Draht hat 0,5 mm Durchmesser und ist in 8 Lagen auf jede Spule ge-

wunden; der quadratische Anker A (vergl. Fig. 168) von 1 cm Seite ist um den Stift S zwischen Backen drehbar und trägt oben einen harten Messingdraht von 2 mm Durchmesser mit der Falle F, die durch ihr eigenes Gewicht in die Zähne des Steigrades einfällt; F′ ist eine regulierbare Gegenfalle, die das Rücklaufen des Zahnrades verhindert.

R ist eine Regulierungsschraube, die dazu dient, die Ausschlagsweite des Ankers zu begrenzen, und R′ eine Regulierungsschraube mit Spiralfeder, mit denen die Spannung des Ankers bewirkt wird. Verbindet man nun die Polklemme P mit dem einen Pol eines Elementes und berührt man mit dem Leitungsdraht, der in P′ eingeschraubt ist, den andern Pol des Elementes, so wird bei jeder Berührung der Anker angezogen, das Zahnrad um einen Zahn nach rechts gestossen und, falls ein auf dem Rade oder auf seiner Achse angebrachter Zeiger über einer Kreisscheibe (Zifferblatt der Uhren) sich bewegt, auf dessen Umfang die Buchstaben aufgezeichnet sind, wird dieser Zeiger bei jedem Stromschluss auf den nächsten Buchstaben abgelenkt.

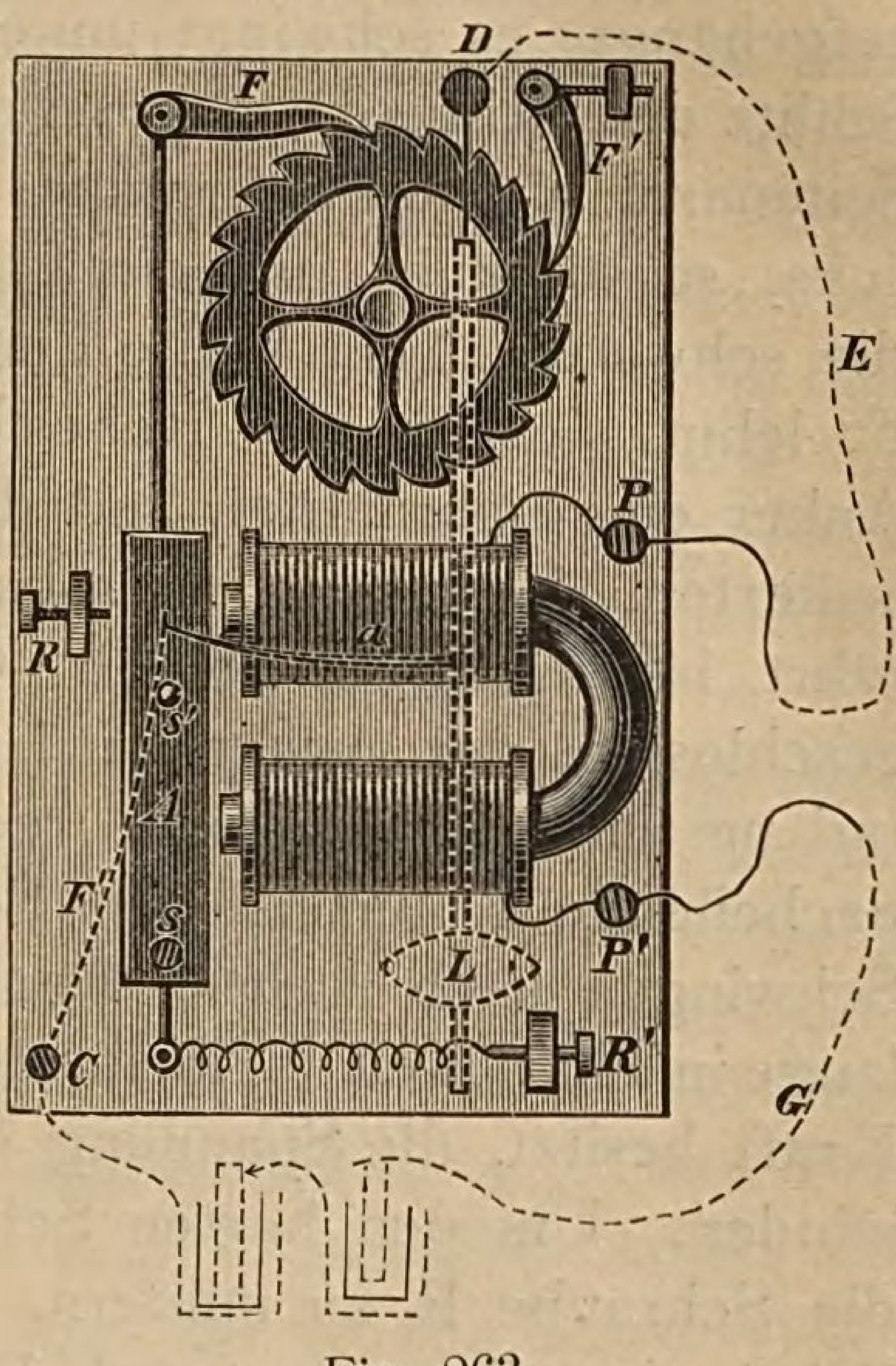


Fig. 263.

Mittels eines Schlüssels ist es möglich, den Zeiger rasch über die Buchstaben gleiten und über dem Buchstaben, den man gerade mitteilen will, einige Augenblicke ruhen zu lassen. Dies ist der nun nicht mehr gebräuchliche Zeigertelegraph. Das Ablesen ist bequem und es ist kein besonderes Alphabet zu erlernen; aber der Zeiger deutet in Verbindung mit einem gleichen Apparat nicht immer auf den gewollten Buchstaben.

c) Vor dieser Einrichtung ist ein Pendel DL aufgehängt; es schwingt um eine Feder, die in einen Schlitz des Stiftes D eingeschoben ist, und hat einen Seitenarm a mit Platinspitze; bewegt es sich nach links, so stösst es auf ein Platinplättchen, das auf die schwache, 1 cm breite Feder F'' gelötet ist. Diese F'' lehnt sich in der Ruhestellung an den in den Anker eingeschraubten und durch ein Glasröhrchen isolierten Messingstift s'; sobald a die Feder F'' berührt, ist der Strom über F''-C-Batterie-G-P'-P-E-D geschlossen, der Anker wird angezogen, das Steigrad um einen Zahn nach rechts gestossen und die nacheilende F'' erteilt dem Pendel den Antrieb zum Schwingen nach rechts. Pendel und Rad werden so lange in Thätigkeit bleiben, als der Strom hinreichend Kraft besitzt, die Spannung der Spiralfeder zu überwinden. Um den harten Schlag des Ankers gegen die Schraube R zu mildern, drückt man über die Spitze derselben ein Stück Kork oder Gummi oder Leder und ebenso auf die Polkerne.

Um eine gewöhnliche Uhr ohne Schlagwerk in eine elektrisch getriebene umzuwandeln, entfernt man das Gewicht oder die Antriebsfeder und regu-

liert das Pendel wie gewöhnlich durch Auf- und Abwärtsschrauben der schweren Linse L. Mit zwei grösseren Meidinger-Elementen läuft eine solche Uhr mit 25 cm Pendellänge etwa 6 Monate. Schaltet man in die Stromleitung ein Vertikalgalvanometer mit geringem Widerstande ein, so wird man aus dessen Nadelausschlägen ersehen, ob bei jedem Pendelschlag ein Stromschluss erfolgt und ob die Stromstärke der Batterie sich nicht ändert.

Nebenuhr. Bringt man an dem Steigrad irgend einer Uhr nicht zu nahe am Rande einen Stift an, der senkrecht auf der Radebene steht und lässt man eine isolierte Feder so gegen den Stift schleifen, dass bei jedem Umlauf des Rades ein Strom geschlossen wird, so wird der durch das soeben beschriebene Zeigerwerk zugleich gehende Strom dieses bei jedem Umgang des Normalsteigrades um einen Zahn vorwärts stossen; wird dies Zeigerwerk von einem sogenannten „Uhrregulator“ getrieben, so heisst es eine Nebenuhr (Bahnhofuhren).

Eine Nebenuhr, deren Pendel 2 Schwingungen machen würde, wenn das der Hauptuhr eine macht, verlangt Stromschlüsse bei jeder Pendelschwingung der Hauptuhr. Man giebt dann dem Pendel eine Platinspitze, zu der ein Kupferdraht längs der Pendelstange führt, falls diese von Holz ist. Diese Platinspitze streift durch eine Quecksilberkuppe, die gebildet wird, wenn man ein kurzes Glasröhrchen mitten in ein Gefäss mit Quecksilber befestigt; die vorübergehende Spitze schliesst den Strom, der an das Uhrwerk und an das Quecksilber angeschlossen ist, sie streift aber auch die Kuppe ab, doch er-

neuert sich diese durch Kapillarität. Man kann so von einer Normaluhr aus eine Reihe Nebenuhren treiben lassen.

Haben beide Uhren dasselbe Räderwerk, so hat die Hauptuhr bei jedem Pendelgang den Strom nur einmal zu schliessen; man lässt dann die Platinspitze gegen eine seitwärts angebrachte Spiralfeder auftreffen.

Die Uhrregulatoren

sind gewöhnlich Repetieruhren; aber das Schnürchen, an dem man zu ziehen hat, wenn die Uhr die eben verflossene Stunde wiederholen soll, hängt zwecklos im Gehäuse. In schlaflosen Nächten möchte man jedoch nicht selten die ungefähre Zeit wissen. Man schraube hierzu auf den Boden des Uhrgehäuses einen starken Elektromagneten (etwa 6 cm Schenkellänge, 1 cm Kerndicke, 8 bis 10 Lagen von 0,5 mm Durchmesser) und knüpfe die Repetierschnur an den Anker, dessen Erhebung durch eine Regulierschraube begrenzt wird, schalte 2 Braunstein-Elemente in den Stromkreis und bringe den Druckknopf neben dem Bette an. Der Anker wird während des Druckes angezogen und das Repetierwerk ausgelöst. Auch mit einer senkrecht stehenden Drahtspirale, die bei Stromschluss einen Eisenkern einzieht, kann man seinen Zweck erreichen.

Weiter auf diese schöne Anwendung der Elektricität glauben wir nicht eingehen zu dürfen, da der Elektriker nur ausnahmsweise speciellere Kenntnisse in Uhrkonstruktionen besitzen wird, schliessen aber noch an:

Entmagnetisierung von Taschenuhren.

Kommt man einem starken Elektromagneten zu nahe, so findet man nach einiger Zeit, dass die Taschenuhr unrichtig geht, weil ihre Stahlteile magnetisiert worden sind. Diesem Übelstand kann man auf folgende Arten abhelfen:

1) Man knüpft die Uhr an eine Schnur von etwa 50 cm Länge und windet diese so lange auf, bis beim Loslassen die Uhr sich rasch um sich selber dreht; dabei hält man die Uhr über die Pole eines starken Stahl- oder Elektromagneten; wenn die Rotation zu Ende geht, entfernt man die Uhr allmählich.

2) Man sendet durch den Elektromagneten Wechselströme, indem man einen der beschriebenen Stromwender rasch dreht, die Uhr auf die Pole legt und nach einiger Zeit langsam entfernt. Die Dauer der Entmagnetisierung richtet sich nach der Stärke des angewendeten Stromes und Elektromagneten, sowie nach der Magnetisierung der Uhr.

Einen raschen Stromwechsel erhält man mit dem Inversor Poggendorff's (1838) Fig. 263a. Ein Holzrad ist beiderseits mit Messingplatten b und c belegt, von denen Streifen d, e über den Umfang der Scheibe gehen. Die Platten b und c sind mit den beiden, von einander isolierten Hälften der metallenen Achse der Scheibe verbunden. Die Schleiffedern

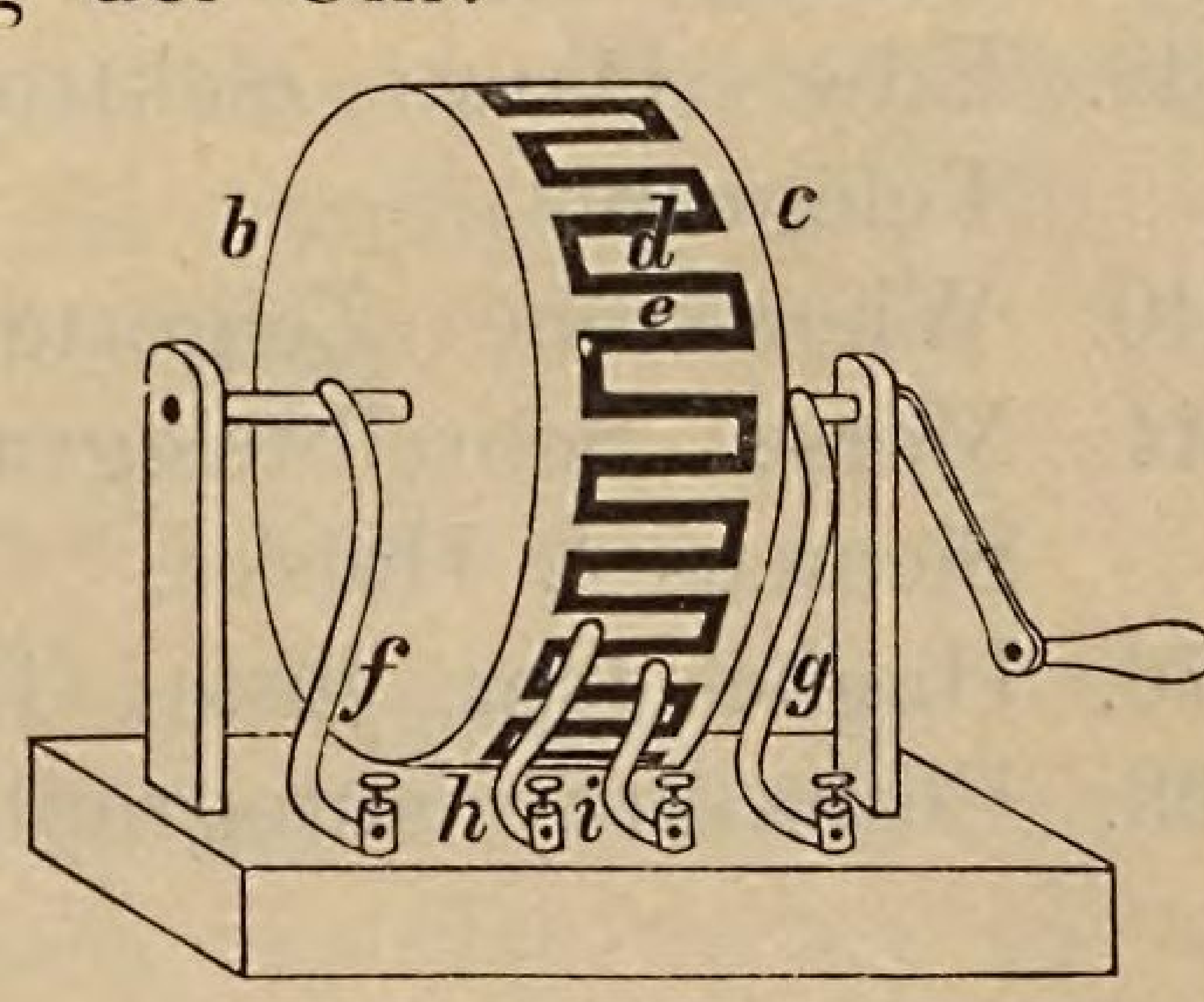


Fig. 263a.

f und g führen den Strom zu den Seitenplatten, h und i nehmen die durch Drehen der Kurbel entstandenen Wechselströme ab.

3) Ist der zur Verfügung stehende elektrische Strom hinreichend stark, so legt man die Taschenuhr in eine niedere Drahtspule von 4 bis 6 Lagen eines Drahtes von 1 bis 1,5 mm Dicke und sendet die Wechselströme durch diese Spule.

Geschichtliches. 1809. Sömmering in München: der Strom zersetzt Wasser in 35 Gläschen.

1831. Henry in New-York: Klopfer.

1832. Schilling von Cannstatt: Nadelausschläge eines Multiplikators.

1833. Gauss und Weber in Göttingen: Nadelausschläge durch Induktionsströme.

1837. Steinheil: elektromagnetischer Drucktelegraph in München; Bodenleitung.

1837. Wheatstone und Cooke: Nadeltelegraph und Läutwerk.

1838. Edw. Davy: elektromagnetisch - chemischer Telegraph.

1840. Wheatstone: Zeigertelegraph.

1844. Morse: Schreibtelegraph. Farbschreiber von Siemens & Halske.

1876. Hughes (spr. Juss): Typendrucktelegraph.

1893. Elisha Gray: autographischer Schreibtelegraph.

Kapitel XIII.

Magnetelektrische Motoren.

Wesen der Elektromotoren.

Jeder Apparat, der dazu bestimmt ist, elektrische Energie in mechanische Bewegung (Läutwerke, Telegraphen u. s. w.) umzuwandeln, kann ein Elektromotor genannt werden; doch bezeichnet man als Elektromotoren nur diejenigen Apparate, welche unter der Einwirkung der elektromagnetischen Induktion eine fortdauernde drehende Bewegung annehmen.

Wegen den durch die raschen Umdrehungen dieser Apparate bedingten raschen Unterbrechungen des Stromkreises sind die Drähte für die Elektromagnetwindungen ziemlich stark zu wählen.

Barlow's Rad.

(Fig. 264.) Der älteste Apparat dieser Art ist das Barlow'sche Rad. Es erläutert sehr anschaulich die gegenseitige Wirkung des elektrischen Stromes und des Magnetismus und hat neuerdings als Elektricitätszähler eine praktische Anwendung gefunden.

An einem gabelförmig ausgeschnittenen Leitungsdraht oder zwischen zwei Metallblechen ist ein sternförmiges Rädchen (ein leichtes Uhrrädchen oder das

Unruhrädchen der Taschenuhren ohne Zähne) angebracht, dessen Spitzen oder Rand in ein schmales

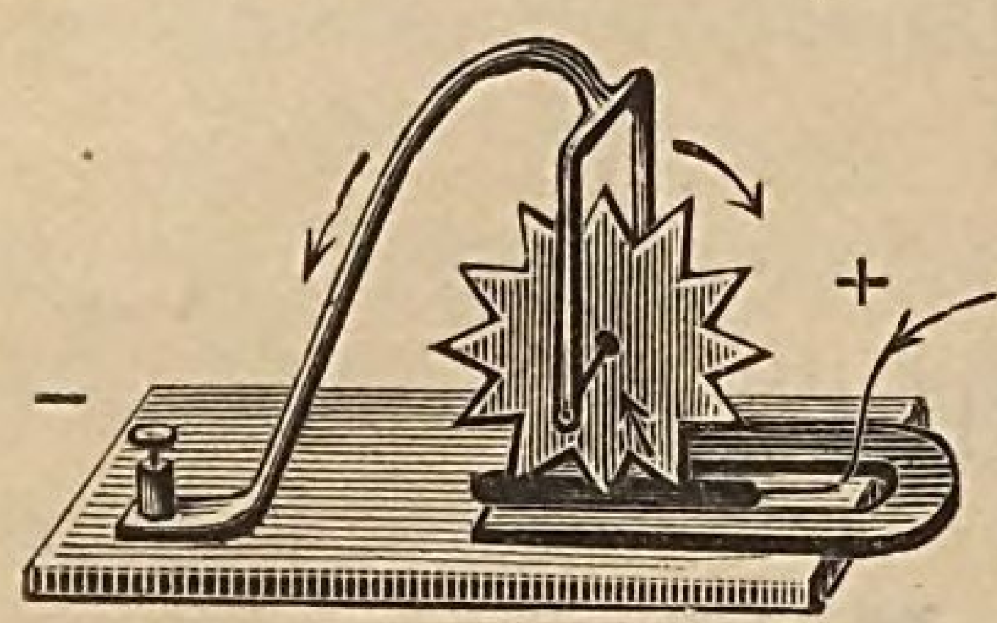
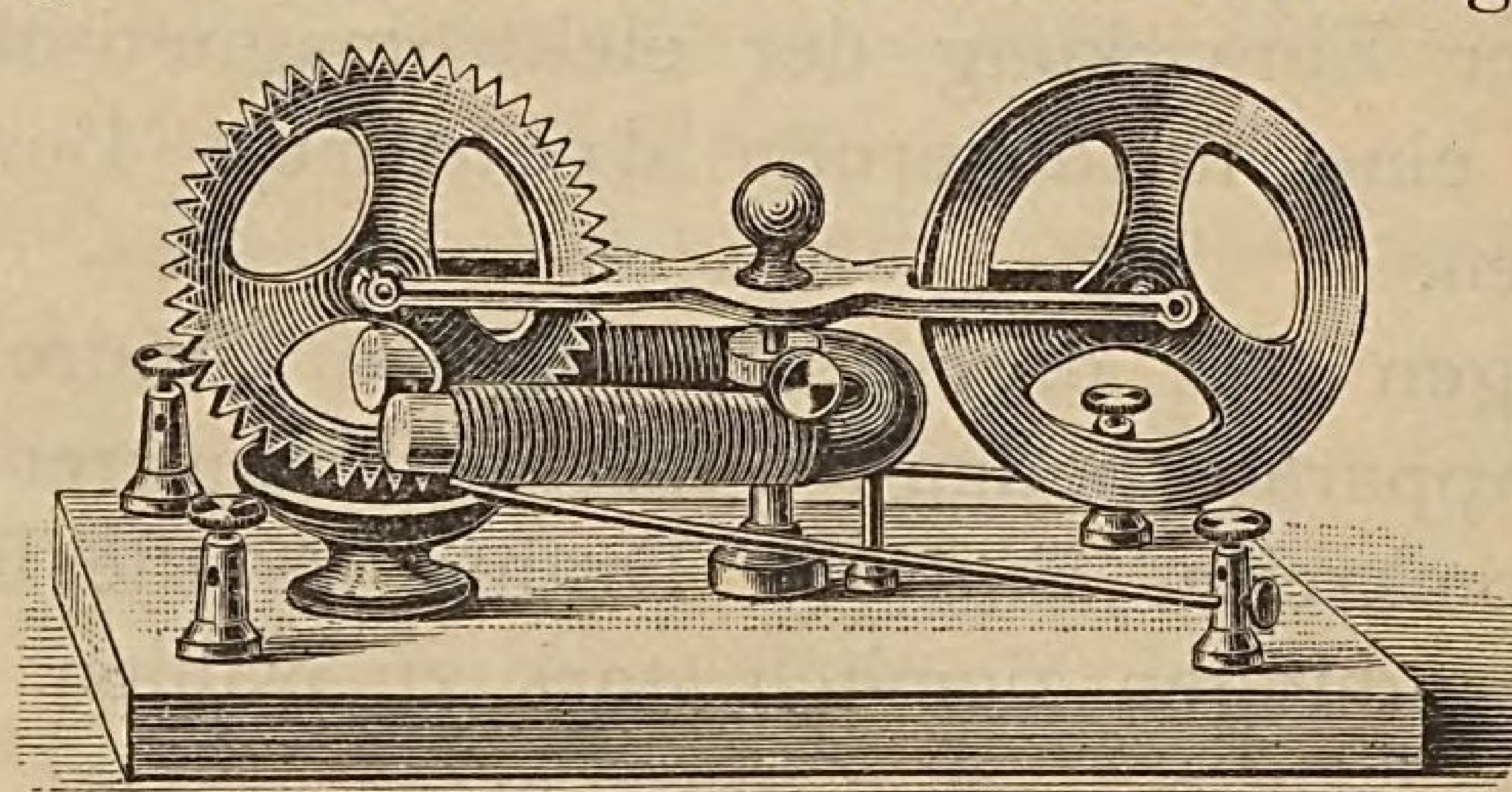


Fig. 264.

Quecksilbergefäss aus Holz oder Karton nur wenig eintauchen. Zu beiden Seiten des Gefässes liegen möglichst nahe die Pole eines kräftigen Stahl- oder Elektromagneten. Leitet man durch das Quecksilber einen nicht zu schwachen elektrischen Strom (Flaschen-Element), welcher vom Umfang zum Mittelpunkte des Rädchens geht, während der Nordpol des Magnetes vor dem Rädchen westlich und der Südpol östlich liegt, so dreht sich nach Fig. 270 c das Rad in der Richtung der Zeiger einer Uhr. Kehrt man den Magnet oder


Fig. 264 a.

den Strom um, so ist die Richtung der Drehung der vorigen entgegengesetzt.

Verwendet man einen Elektromagneten (Fig. 264 a), so lässt man denselben Strom durch dessen Windungen und zugleich durch das Quecksilber und das Rad fliessen.

Arbeit und Kosten der Elektromotoren.

Die grosse Anziehungskraft der Elektromagnete

hat Anlass gegeben zu versuchen, dieselben zum Betrieb von Maschinen zu benutzen. Wegen des Verbrauchs an Zink und Schwefelsäure ist aber im allgemeinen die Verwendung der galvanomagnetischen Maschinen zu teuer. 1 kg Steinkohle giebt bei Verbrennung 7000 Wärmeeinheiten (die Wärmemenge, welche 1 g Wasser zur Erhöhung seiner Temperatur um 1⁰ C aufnimmt, ist die kleine Wärmeeinheit oder Grammkalorie; die Wärmemenge, welche 1 kg Wasser zur Erhöhung seiner Temperatur um 1⁰ C aufnimmt, ist die grosse Wärmeeinheit oder Grosskalorie (Kap. V, VI, VIII), durch Oxydation von Zink (Aufnahme von Sauerstoff) in der Batterie und durch den erzeugten Strom werden nur 1240 Wärmeeinheiten erhalten; also giebt 1 kg Steinkohle 5,6 mal so viel Wärme, und da Steinkohle ungefähr 10 mal so wohlfeil ist als Zink, so erreicht man mit demselben Aufwand 56 mal so viel Wärme und auch 56 mal so viel Arbeit. In den Dampfmaschinen wird allerdings nur etwa $\frac{1}{10}$ der zugeführten Wärme in Arbeit verwandelt, sie leisten aber doch noch 2,8 mal so viel als die galvanomagnetischen Maschinen, selbst wenn bei diesen der Aufwand für Säure und Quecksilber gar nicht in Anschlag gebracht wird. Dagegen können diese Elektromotoren von Vorteil sein, wo nur geringe, aber stetige Kräfte erfordert werden.

Der Elektromotor von Ritchie. 1833.

a. Konstruktion. (Fig. 265.) Ein U-förmig gebogener Stahlmagnet ist auf ein Brett eingelassen und so befestigt, dass er senkrecht steht und seine Pole nach oben gerichtet sind. In der Mitte zwischen

beiden Schenkeln desselben befindet sich eine stählerne oder messingene Achse, welche in Spitzen läuft und an welche ein Elektromagnet (hier ein kurz umgebogener Rundstab aus weichem Eisen oder ein voller zweischenkliger Hufeisenmagnet mit Draht von 0,5 bis 1 mm Dicke in 3 bis 4 Lagen) befestigt

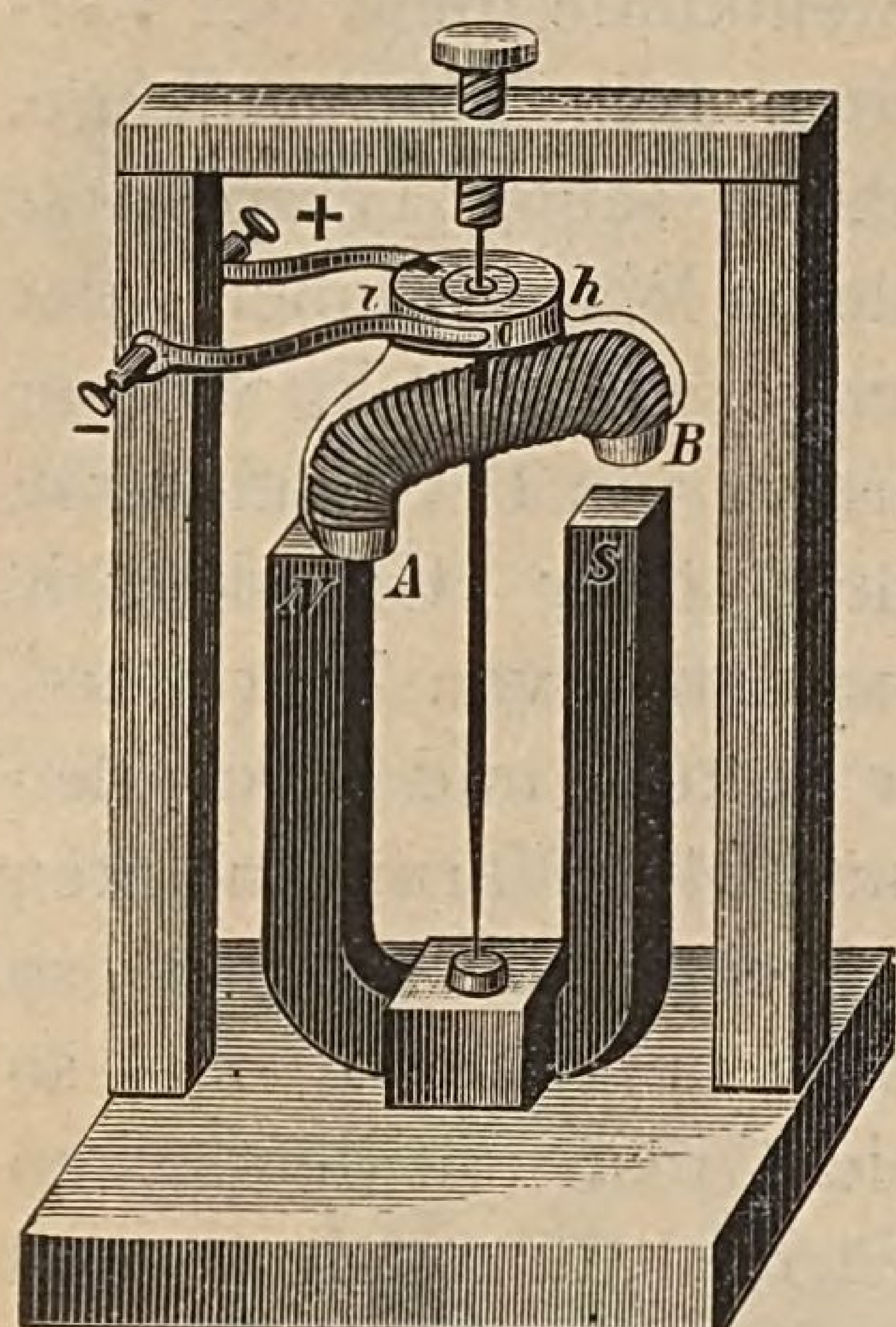


Fig. 265.

A Achse; R R' Halbringe; B B' Schleiffedern oder Bürsten; N S Stahlmagnet.

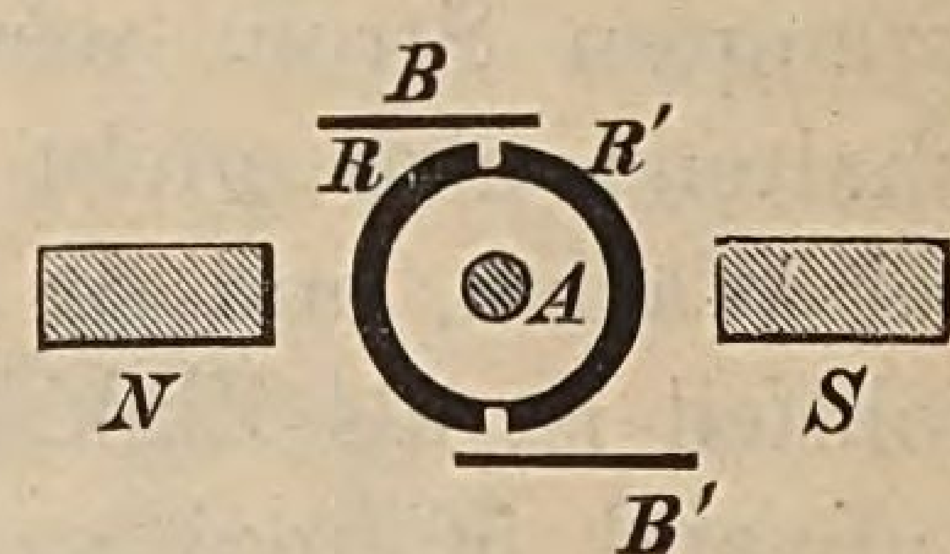


Fig. 266.

ist, dessen Pole bei der Rotation um die vertikale Achse gerade über den Polen des Stahlmagneten weggehen. Über (oder unter) dem Elektromagnet ist der Kommutator (Stromwender) angebracht (Fig. 266); derselbe besteht aus einer Scheibe von Holz oder Hartgummi oder Elfenbein, welche von einem Messingring umgeben ist, der aber aus zwei Hälften gebildet ist, die durch zwei diametral gegenüberliegende Zwischenräume von einander getrennt sind, also nicht in leitender Verbindung stehen (der Messingring R R' ist also zweimal durchgesägt, nachdem er aufgeschraubt worden). Die Enden der

Drahtwindungen, welche den Eisenkern umgeben, sind an diese Halbringe angelötet. Auf dem Umfang der Halbringe schleifen zwei Messingfedern oder Bürsten B B', deren Enden unter die Polklemmen in den Holzrahmen geschraubt sind; diese Polklemmen dienen zur Aufnahme der Pole der Batterie.

b. Stromlauf. (Fig. 265.) Der positive Strom gehe von der hinteren Feder auf den Halbring h, von diesem durch die Drahtwindungen über i zur vorderen Feder; so wird A ein Südpol und B ein Nordpol und darum werden beide von dem Stahlmagneten angezogen. Steht der Elektromagnet wagrecht, so geht die hintere Feder auf i über und es findet Polwechsel statt, A wird somit von N und B von S abgestossen, was zur Folge hat, dass die Rotation im gleichen Sinne fortdauert. Wird der Elektromagnet rasch um seine Achse getrieben, so erregt der Stahlmagnet Ströme in den Drahtwindungen: magnetelektrische Maschine von Ritchie und Saxton. Für diesen Fall bewickelt man den Elektromagneten mit vielen Windungen und fertigt ihn aus einem Bündel Eisenblätter.

c. Eine zweite Form. (Fig. 267.) Den Stahlmagneten kann man durch einen Elektromagneten ersetzen und denselben Strom zuerst um den feststehenden Elektromagneten (von der hinteren Polklemme aus) und dann von dort erst zum Kommutator führen, (hier zwei flache, auf dem Grundbrett liegende Halbringe mit oder ohne Vorsprünge).

Elektromotor mit Tretrad.

(Fig. 268.) Eine andere Einrichtung benützt den Strom nur zeitweise, ähnlich wie ein Tretrad

in Gang gehalten wird. Ein kleines Schwungrad von etwa 10 cm Durchmesser (aus Metall, Holz, Pappe) wird mittels einer Kurbelstange in Bewegung gesetzt,

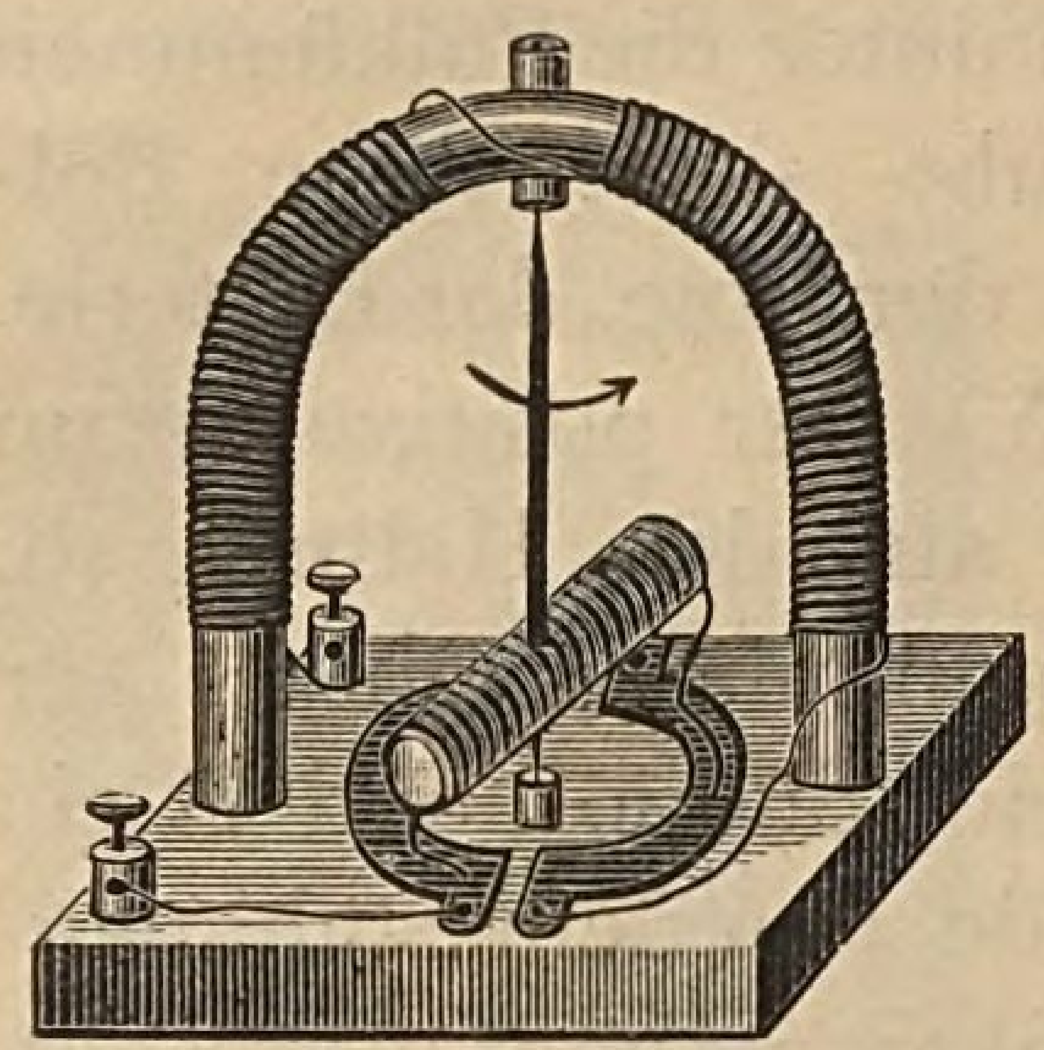


Fig. 267.

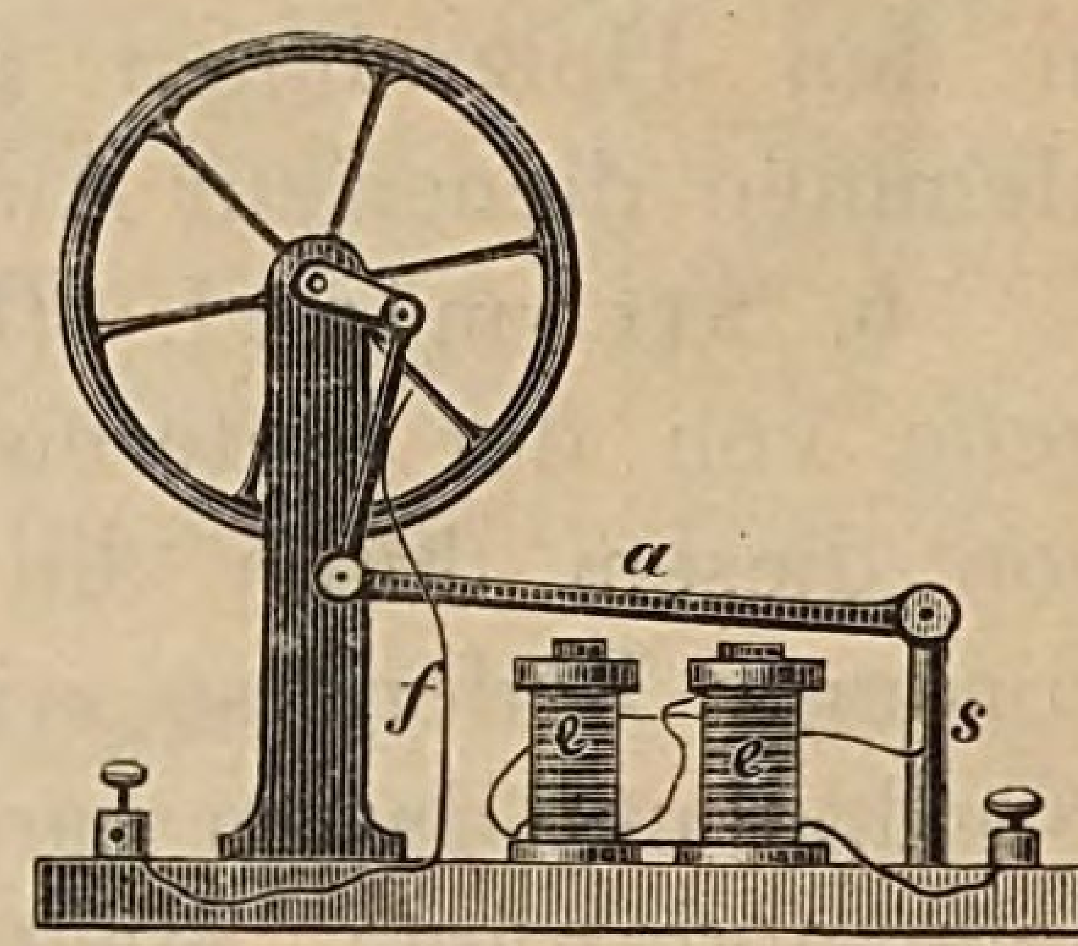


Fig. 268.

wenn der eiserne Hebel (Anker) a abwechselnd auf- und niedergeht. Einen Antrieb erhält das Rad nur, wenn a durch die Elektromagnete e niedergezogen wird. Dies geschieht, sowie die Kurbelstange die Feder f berührt. In diesem Augenblicke nämlich wird der Strom, der zuerst zu dem Elektromagneten e und von da zur Säule s fliesst und durch die Feder f wieder austritt, geschlossen, also der Anker a angezogen, bis er seine tiefste Stellung erreicht hat, wobei die Kurbelstange nach links gegangen und ausser Berührung mit f getreten ist. Das Schwungrad dreht sich jetzt vermöge seiner Beharrung weiter, bis die Stellung der Figur wieder erreicht ist und ein neuer Antrieb erfolgt. Maassstab $\frac{1}{2}$—$\frac{1}{3}$.

Der Stern-Elektromotor.

(Fig. 269.) Eine der gewöhnlichsten und vielfach modifizierten Formen von Elektromotoren besteht aus einem aufrecht stehenden, einfachen oder

zweischenkligen Elektromagneten; zwischen zwei Metallträgern rotiert die Achse des 4 bis 8 strahligen Rades; auf dieser Achse sitzt die Unterbrechungsvorrichtung, bei 4 Strahlen des Rades genügt ein Messingviereck von etwa 3 mm Dicke und 1 cm Seite, das so gestellt ist, dass die mit der Polklemme P′ verbundene Feder F eine Ecke in dem Augenblick nicht mehr berührt, in welchem ein Radstrahl gerade über den Elektromagneten vorübergeht. Der Strom geht von P durch das Gewinde zu einem Metallträger T, zur Achse, durch den Unterbrecher zur Feder F, zu P′ und zurück zum Zink.

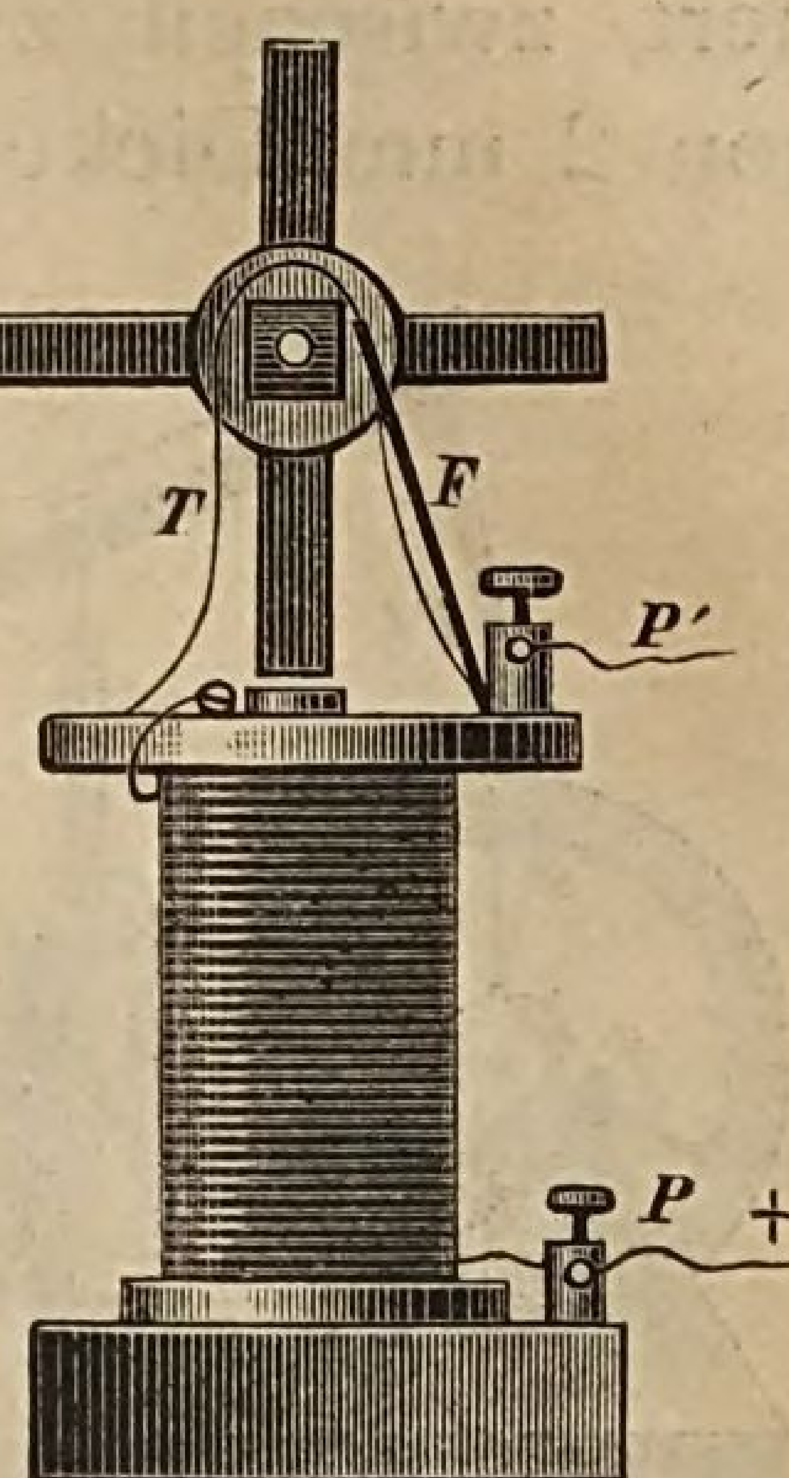


Fig. 269.

Auf der Achse wird ein kleiner Wirtel mit Schnurlauf aufgesteckt. Bisweilen lässt man mit diesem Motor einen kleinen Pumpbrunnen schöpfen oder, wenn er horizontal auf ein Wägelchen gelegt ist, dieses treiben, indem dem Motor der Strom durch die Schienen zugeführt wird; auch kann man das galvanische Element auf das Wägelchen selbst stellen; in diesem Falle müssen die raschen Drehungen des Strahlenrades durch eine Übersetzung vermindert auf die Wagenräder übertragen werden — elektrische Bahn. Maassstab $\frac{1}{2}$ bis $\frac{1}{3}$.

Der Motor mit Balancier (nach Page 1834) (Fig. 270 a) beruht, wie die Vertikalgalvanoskope (Fig. 85 und 87) auf der Einziehung von weichem

Eisen in die Spulen. E und E' sind die mit Draht von 0,8 mm Dicke in 8 Lagen umwickelten Spulen. Der Träger T ist eine quadratische Holzleiste von 1,5 cm Seite, auf die ein Metallbügel aufgeschraubt ist, zwischen dessen Backen der Balancier schwingt. Das Schwungrad von etwa 10 cm Durchmesser rotiert zwischen zwei Trägern T aus Messingblech von 2 mm Dicke. Auf der hinteren Seite des Rades ist ein Messingstreifen als Kurbel für die Pleuelstange Pl gelötet, auf das vordere Ende der Radachse ein Excenter, der mit den Messingfedern f und f' auf seiner Umdrehung Kontakt bildet und damit den Stromschluss bewirkt.

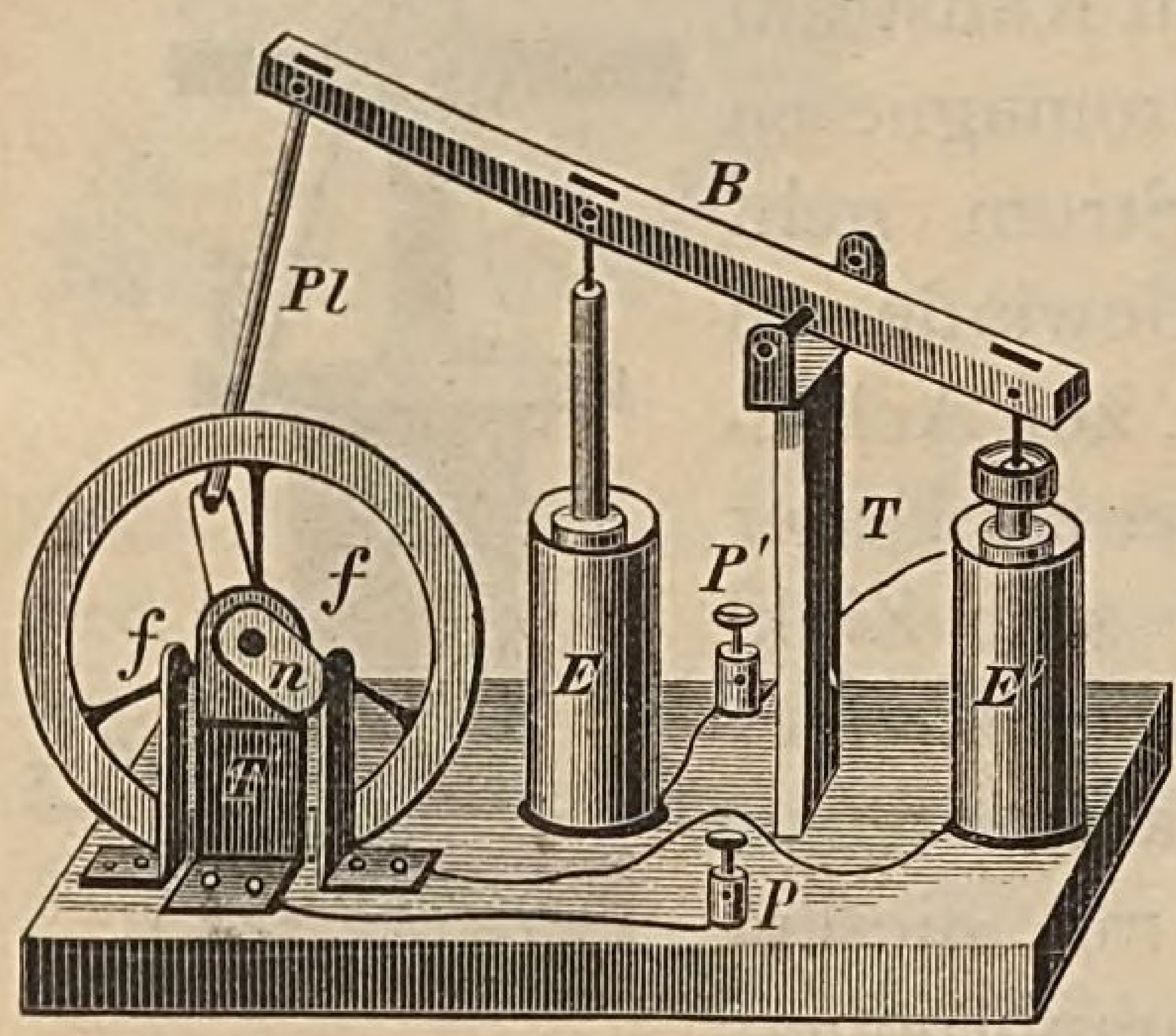


Fig. 270a.

Die aus weichem Rundeisen bestehenden Anker, wovon der rechte ein Gegengewicht hat, hängen an Drähten, die oben zu Ösen umgebogen sind; diese Ösen sind durch senkrecht ausgesägte Schlitze des Balancier geschoben und durch quergesteckte Drähte fest gehalten; ebenso ist die Pleuelstange Pl in den Balancier eingelassen. Die Spulen müssen den Ankern einigen Spielraum gewähren. Der Stromlauf ist folgender: von der Polklemme P nach T, über den Excenter n nach f zu E', nach P' und zum Zink; sobald der Excenter die andere Feder berührt, ist die Spule E in den Stromkreis eingeschaltet und ihr Anker wird herabgezogen. — Maassstab $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{4}$.

Rotation eines Stromes um einen Magneten. Faraday 1821.

(Fig. 270b.) Über das eine Ende eines kräftigen Stahlmagneten von Hufeisenform und cylindrischem Querschnitt ist ein Gefäss von Zink geschoben, das aus zwei Ringen und einer kreisförmigen Bodenfläche zusammengefügt und mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt ist. An der inneren Wand des Zinkgefässes ist ein Zinkbügel befestigt, welcher auf der oberen Fläche des Magnetpols aufsitzt. Auf der Mitte dieses Bügels steht ein Kupfer- oder Messingstäbchen, welches oben mit einem Quecksilbernäpfchen endet.

In dieses Quecksilbernäpfchen ist mittels einer Stahlspitze ein Bügel aus Kupferdraht eingesetzt, welcher unten einen leichten Ring von dünnem Kupferblech trägt, der in das saure Wasser des Zinkgefässes hineinhängt. Es steigt nun der positive Strom in den Kupferdrähten auf, fliesst durch das Quecksilbernäpfchen zum Zink hinab und kehrt durch die Flüssigkeit zum Kupfer zurück. Das Gefäss könnte auch

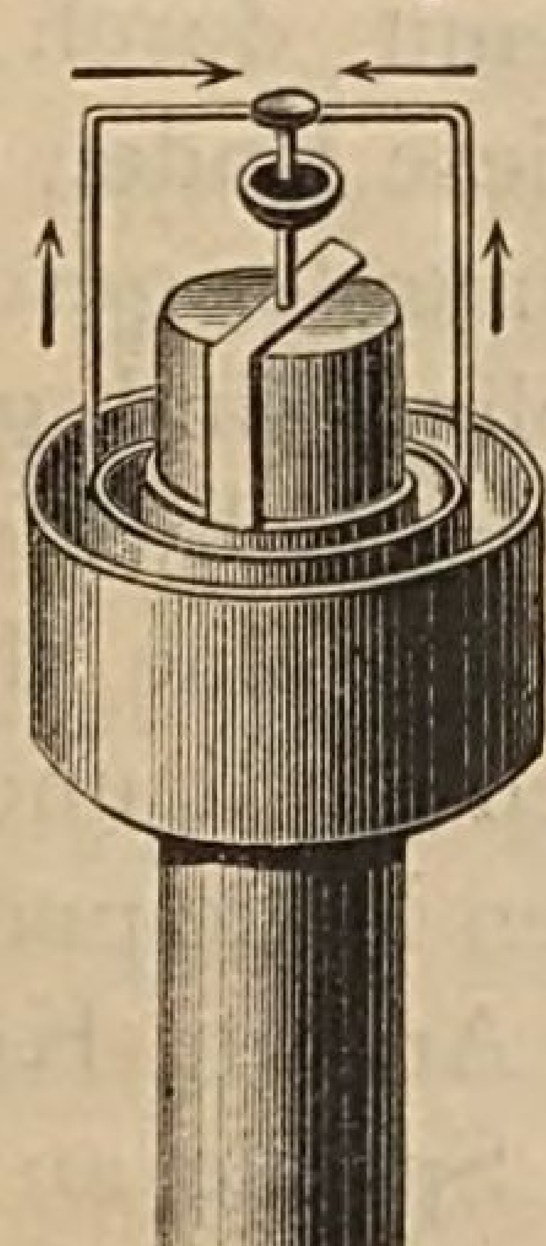


Fig. 270 b.

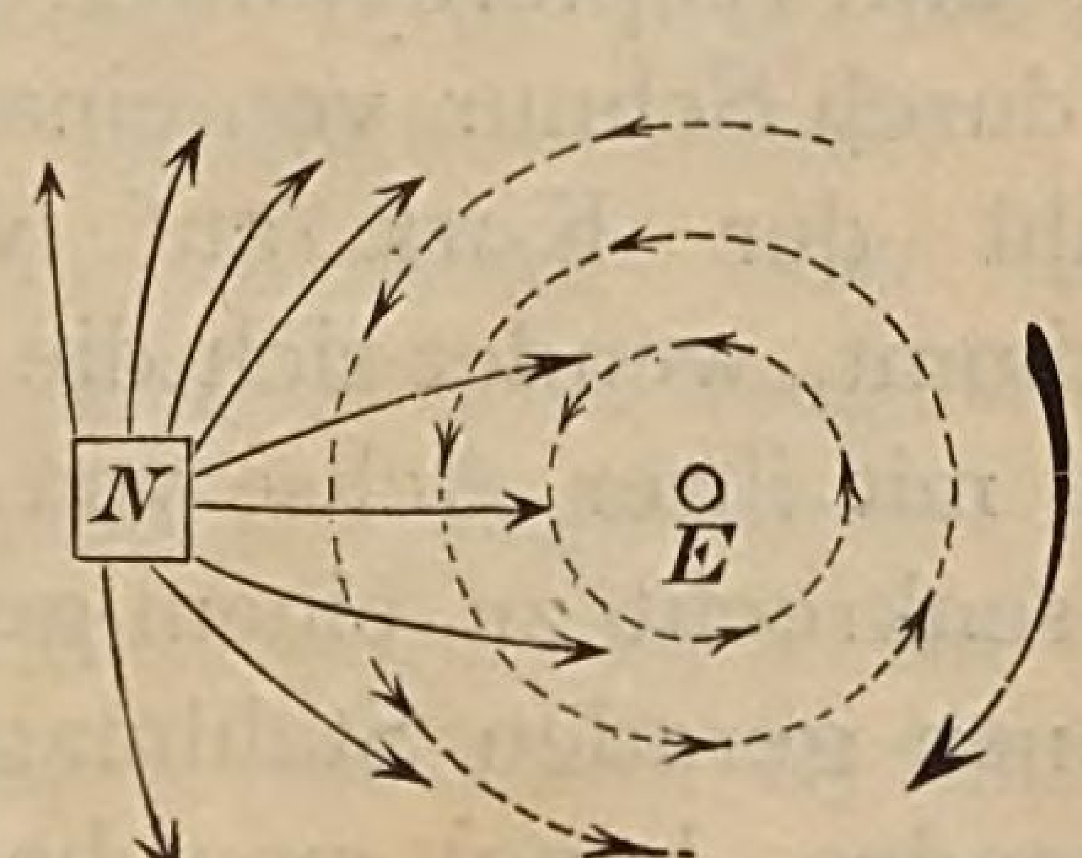


Fig. 270 c.

aus Kupfer und der Ring aus Zink bestehen; die Rotation erfolgt dann in umgekehrter Richtung.

Fig. 270 c. Man nimmt an, dass vom Nordpol N aus die Strahlen der elektrischen Kraft oder die Kraftlinien in den umgebenden Raum eindringen (Fig. 205); steigt nun in E der elektrische Strom durch die Papierebene auf (Fig. 94), so beschreiben dessen elektrische Kraftlinien konzentrische Kreislinien, die der Uhrzeigerbewegung entgegengerichtet sind, auf die magnetischen Wellen treffen und so eine Rotation im Sinne der Uhrzeiger bewirken. Das Studium dieser Erscheinungen erleichtert das Verständnis der Wirkungsweise der magnetelektrischen, sowie der dynamoelektrischen Maschinen. — Maassstab $\frac{1}{3}$ nat. Grösse.

Eine Drehung eines Stromes durch einen Magneten erhält man durch den sogenannten *schwimmenden Strom.* Die Enden einer mit Faden zusammengehaltenen Kreisspirale von etwa 10 cm Durchmesser und 15 bis 20 Windungen eines Drahtes von 0,5 mm Dicke werden getrennt durch einen grösseren Kork gezogen und an diese Enden leichte Zink- und Kupfercylinder, die in einander geschoben und durch Schnur von einander isoliert sind, gelötet. Sobald der Kork auf verdünnter Schwefelsäure schwimmt, wendet sich die Spirale wie eine Magnetnadel mit ihrer Achse von Süd nach Nord und stellt sich senkrecht zu einem gegen ihren Mittelpunkt gehaltenen geraden Stahlmagneten. Anstatt Kork zu verwenden, hängt man besser die Spirale an einem langen austordierten Leinen- oder Seidenfaden auf, ersetzt den Kupfercylinder durch einen Kohlenstift (Bogenlampe) und verwendet dann Bichromatlösung.

Rotation eines Magneten um einen Strom.

Fig. 270 d. Der Magnetstab s n ist oben und unten mit Stahlspitzen versehen, so dass er sich leicht um seine Achse drehen kann. Die untere Spitze taucht in Quecksilber, durch welches eine gute elektrische Verbindung zwischen dem unteren Ende des Stabes u. der Klemmschraube a hergestellt wird. In seiner Mitte trägt der Magnet eine Hülse, an welcher ein zur Quecksilberrinne führender Kupferdraht angelötet ist. Der Strom kann also nur die untere Hälfte des Stabes durchlaufen. Von der aus Holz gedrehten Quecksilberrinne tritt der Strom zur anderen Polklemme e aus. Über die Drehungsrichtung vergl. Fig. 205 a und Fig. 77. — Maassstab $\frac{1}{3}$ natürlicher Grösse.

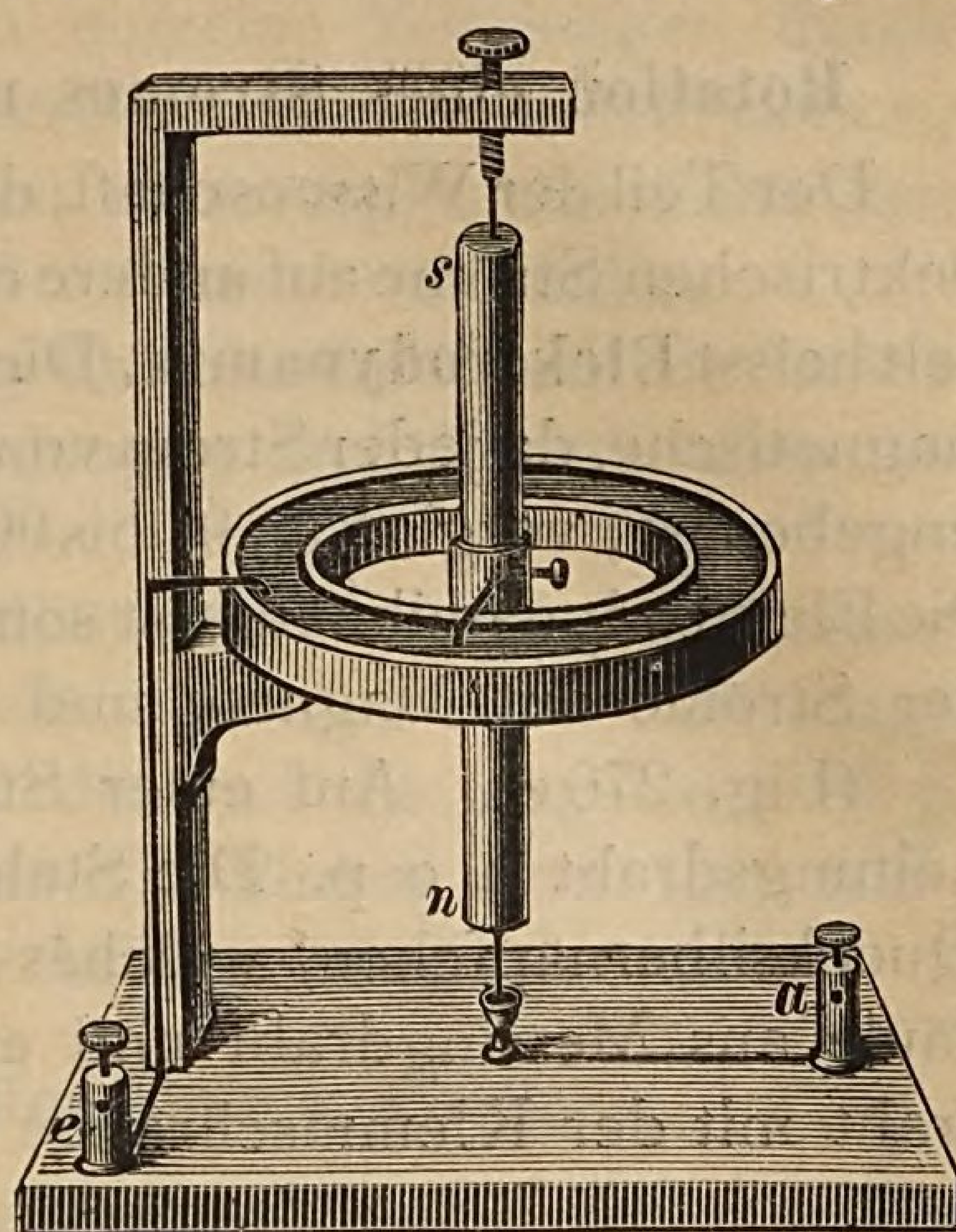


Fig. 270 d.

Grimsehl stellt einen Messing- oder Kupferstab von etwa 20 cm Länge senkrecht, hängt daneben senkrecht an langem Faden eine magnetisierte Stricknadel oder Uhrfeder, so dass deren Mitte die Spitze des Stabes erreicht. Diesen verbindet er unten mit dem einen Leitungsdraht eines kräftigen Elementes; so bald er mit dem andern Leitungsdraht die Spitze des Stabes berührt, beginnt die Nadel zu rotieren.

Bei diesen Umdrehungen muss man der Nadel ausweichen, indem man die obere Zuleitung rasch aufhebt und schliesst. Kehrt man den Strom um, so rotiert auch die Nadel in entgegengesetzter Richtung.

Rotation eines Stromes um einen andern.

Der Teil der Wissenschaft, der von der Wirkung der elektrischen Ströme auf andere elektrische Ströme handelt heisst **Elektrodynamik.** Diese Wirkungen sind rein magnetische, da jeder Strom von magnetischen Wirbeln umgeben ist; vergl. Fig. 94 bis 96 und Fig. 220 und 221. Die Elektrodynamik umfasst somit auch die Wirkungen der Ströme auf Magnete und umgekehrt.

(Fig. 270 e). Auf einer Stahlspitze schwebt der Leitungsdraht n o p. Die Stahlspitze steht in einem Quecksilbernäpfchen, welches durch die senkrechte Säule aus Messingdraht und einen isolierten Kupferdraht mit der Klemmschraube b verbunden ist. Der

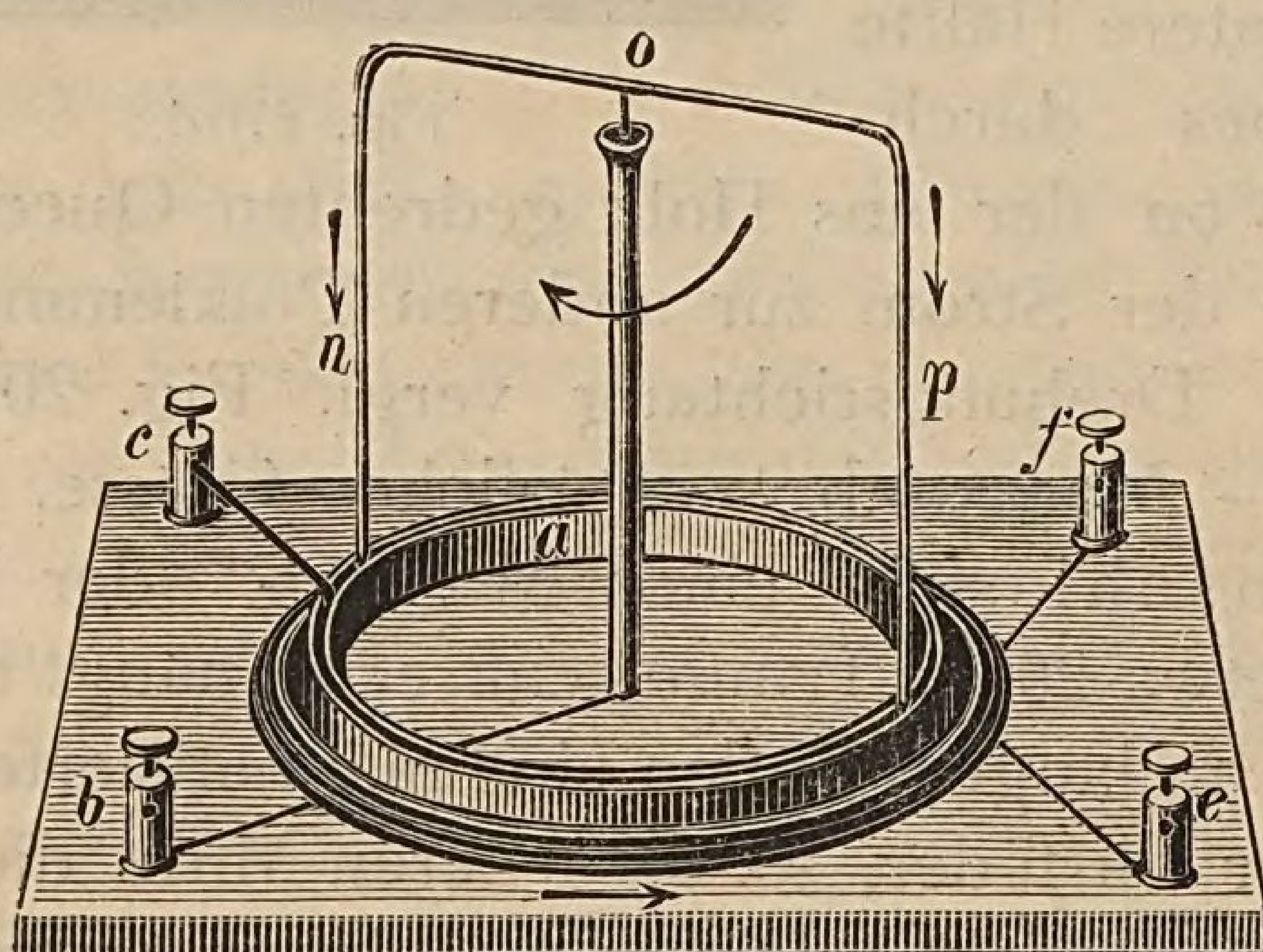


Fig. 270 e.

Strom steigt in der Metallsäule auf, geht in den Armen n und p des Leiters herab, breitet sich in der

Quecksilberrinne a aus und fliesst zur Klemmschraube c ab. Um die aus Holz gedrehte Rinne von etwa 1 cm Breite und 1 cm Tiefe ist die Kupferdrahtspirale d in mehreren übereinander gewickelten Lagen oder auch ein Kupferband, dessen einzelne Windungen durch zwischengelegte Papierstreifen von einander isoliert, sind, gelegt. Die Enden dieser Spirale sind mit den Klemmschrauben e und f leitend verbunden.

Die Rinne für das Quecksilber und die Rinne für die Kupferdrahtwindungen dreht man in dieselbe Holzscheibe.

Um sich die Rotation des beweglichen Leiters erklären zu können, stelle man sich die um die Magnetisierungsspirale und die um die Arme n und p kreisenden elektrischen Kraftlinien und ihr Aufeinandertreffen vor wie in Fig. 270h.

Garthe's Rotationsapparat.

Innerhalb eines festen Holzrahmens AB (Fig. 270f) auf welchen mehrere Lagen eines übersponnenen Kupferdrahtes von 1 bis 1,5 mm Dicke aufgewunden

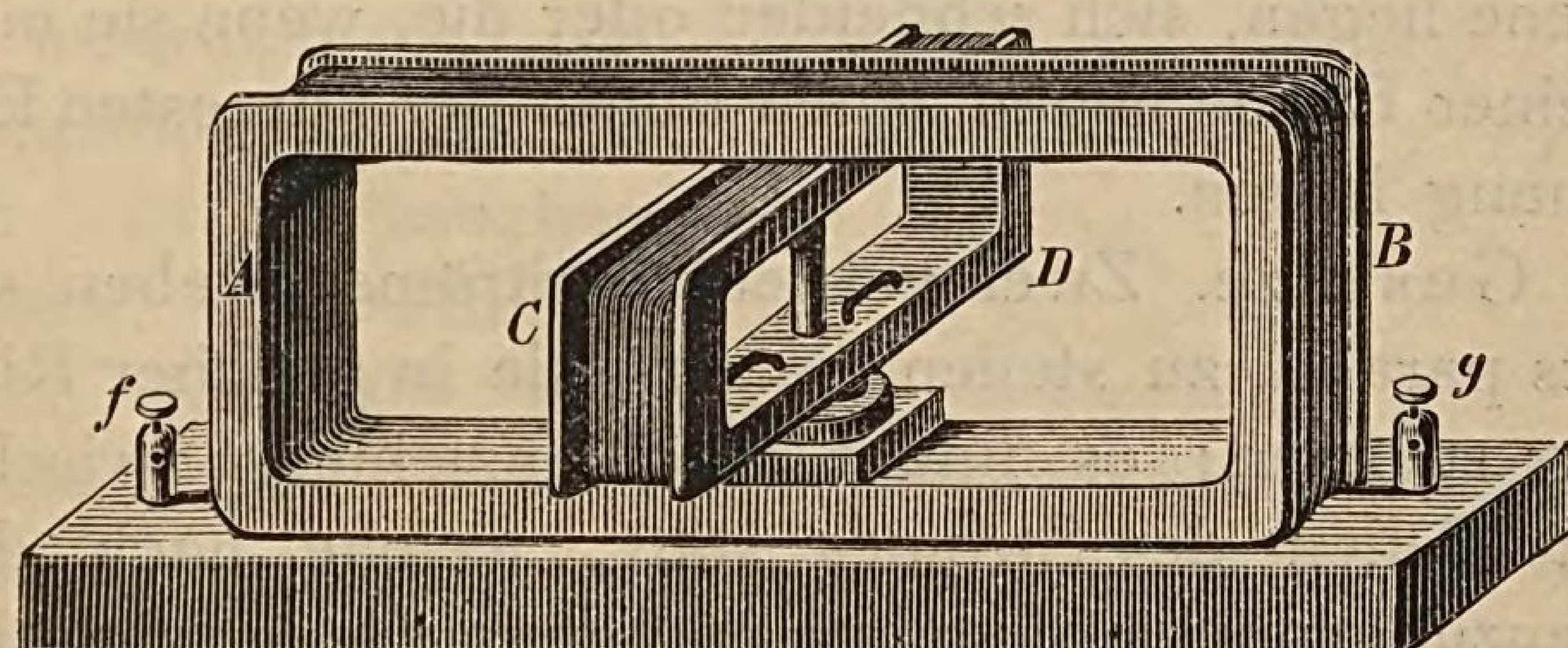


Fig. 270f. 1/2 bis 1/3 nat. Gr.

sind, ist ein beweglicher leichter Rahmen CD auf Nadelspitze und Glashütchen, das in den Rahmen

eingekittet ist oder in der Weise, wie Fig. 270 zeigt, drehbar. Auf dieses Rähmchen ist nur eine Lage eines besponnenen Kupferdrahtes von etwa $\frac{1}{2}$ mm Dicke aufgewickelt. Die freien Enden dieses Drahtes tauchen in eine Quecksilberrinne ein, die durch dünne hölzerne Scheidewände in zwei Hälften abgeteilt ist; das Quecksilber steht etwas höher als diese Scheidewände, so dass die Drähte zwar in das Quecksilber eintauchen, aber frei über die Scheidewände hinweggehen. Den Drahtwindungen des Rähmchens AB wird der Strom von zwei Bunsenelementen oder zwei Tauchelementen durch die Klemmen f und g, den Quecksilbernäpfen von unten her durch die Drähte h und k zugeführt; für den inneren Rahmen verwendet man ebenfalls den Strom von zwei Bunsen- oder zwei Tauchelementen. (Fig. 270 g.)

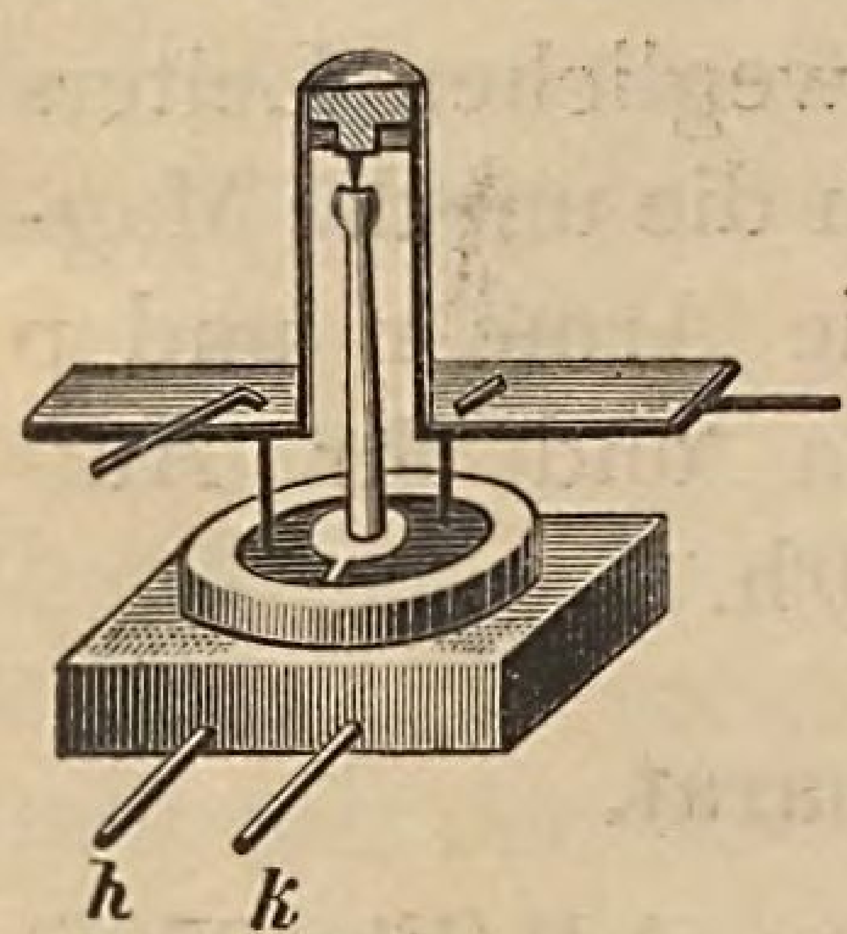


Fig. 270g.

Unter gekreuzten Strömen versteht man solche Ströme, die, wenn sie in derselben Ebene liegen, sich schneiden oder die, wenn sie nicht in einer Ebene liegen, einen Punkt der kürzesten Entfernung haben.

Gesetze. Zwei gekreuzte Ströme streben sich stets parallel zu stellen, so dass sie in gleicher Richtung strömen; es findet also Anziehung zwischen den Teilen des Stromes statt, welche nach dem Kreuzungspunkt hingehen und dann wieder zwischen denen, welche vom Kreuzungspunkt abgehen. Abstossung findet statt zwischen einem Strome, welcher sich nach dem Kreuzungspunkt hinbewegt und einem andern, welcher von ihm weggeht. Ampère 1821.

Fliesst nun im äusseren Rahmen der positive Strom von A nach B und im inneren Rahmen von C nach D, so ziehen sich die Ströme beider Rahmen an, weil die Ströme von A aus und von C aus zum Kreuzungspunkte hin gleichgerichtet sind; die Rahmen stellen sich also parallel. Dann aber wechseln die Drähte des inneren Rahmens die Quecksilberrinnen, der Strom fliesst demnach in diesem Gewinde jetzt in umgekehrter Richtung, d. h. von D nach C, und der Rahmen rotiert infolge der eingetretenen Abstossung im Sinne des Uhrzeigers weiter.

(Fig. 270 h.) Die Kreise um O und O_1 sollen Kraftlinien darstellen, welche durch zwei Elemente der in AB und CD fliessenden Ströme erzeugt werden, und zwar während die Ströme dieselbe Richtung zu erhalten streben. Die Kraftlinien sind dann in beiden Strömen gleichgerichtet, sie treffen innerhalb OO_1 so aufeinander, dass sie sich zu schwächen suchen, während sie sich ausserhalb verstärken: daher muss aus der Schwächung oder Subtraktion innerhalb und aus der Verstärkung oder Addition ausserhalb ein Druck entstehen, der die beiden Spiralen einander nähert, bis die Kraftlinien in einander fallen. Wird dann der Strom umgekehrt, so verlaufen die Kraftlinien um O_1 in umge-

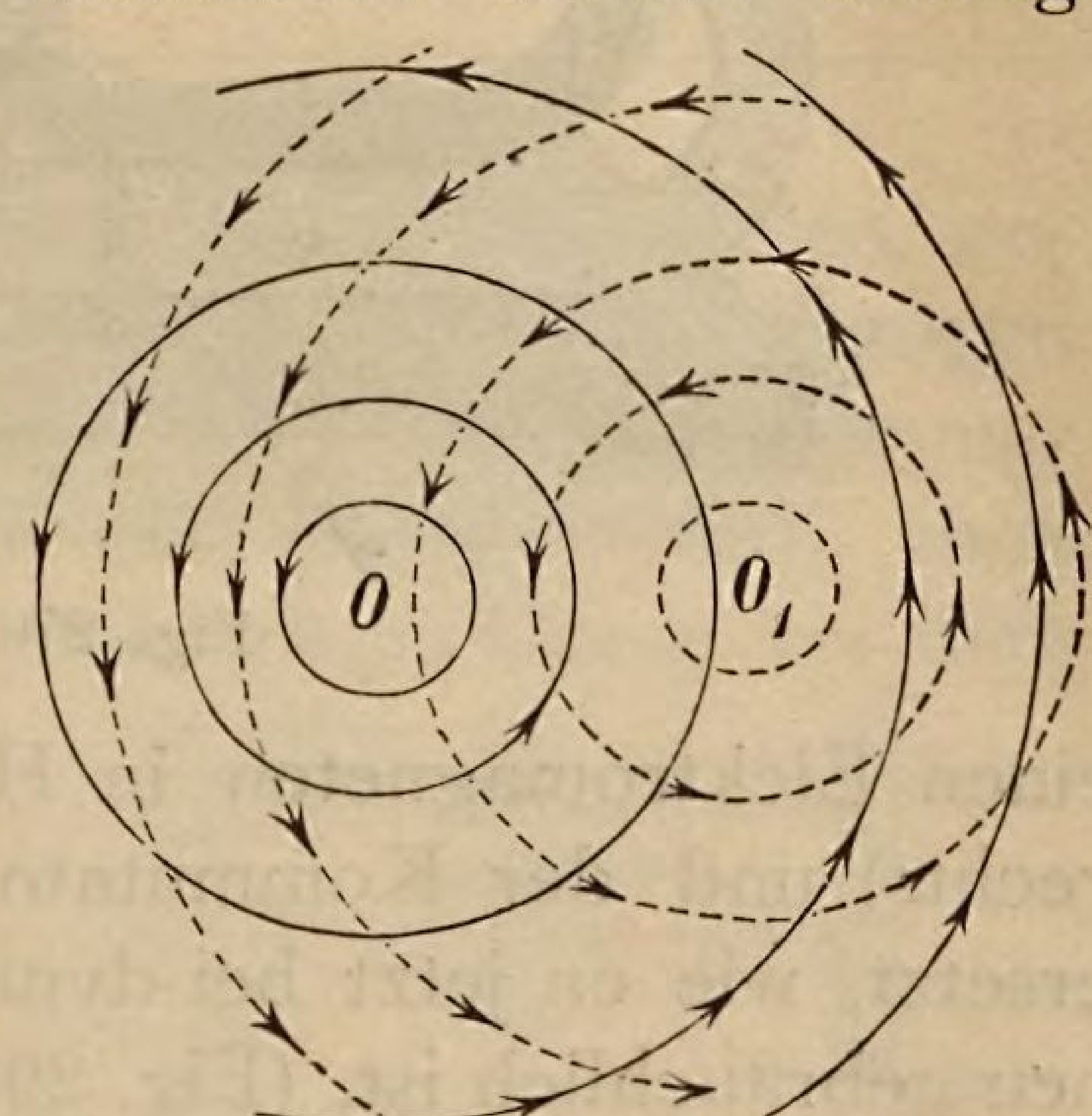


Fig. 270 h.

kehrter Richtung von links nach rechts; es verstärken sich jetzt die Kraftlinien zwischen O und O_1 und ausserhalb schwächen sie sich gegenseitig; es erfolgt somit Abstossung der beiden Spiralen.

Ein Motor für Nähmaschinen.

Der Motor der Fig. 270^k bis 270^m ist aus der magnetelektrischen Maschine von Niaudet (1872) entstanden. Fig. 270^i. Die Stahlmagnete sind durch

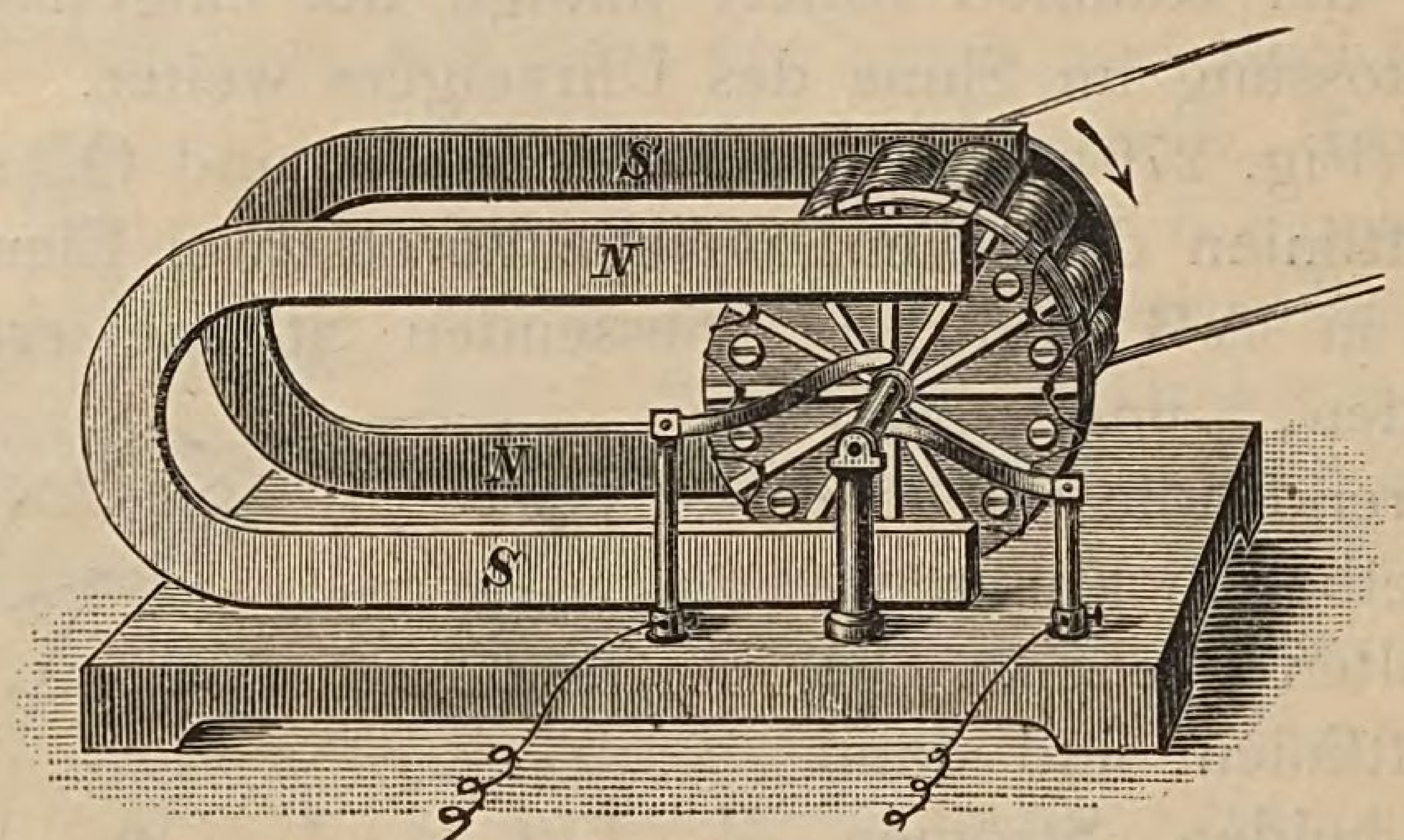


Fig. 270i.

einen Elektromagneten in Hufeisenform (Fig. 270^i rechts) und der Kommutator durch einen solchen ersetzt, wie er jetzt bei dynamoelektrischen Maschinen gebräuchlich ist. (Fig. 294 und 295.) Er ist zwar weniger wirksam als die Motoren mit einschliessenden Polschuhen, dagegen hat er den Vorzug, dass er sehr wohlfeil ist und doch mit 6 kleineren Tauchelementen eine Nähmaschine leicht treibt. Fig. 270^k giebt die Seitenansicht, 270^m die Verhältnisse der Stahlwelle und 270^l die Vorderansicht der rotierenden Scheibe und den Querschnitt derselben und des

Elektromagneten. Er ist ein Hauptschlussmotor, vergl. Fig. 314. Da die Maasse genau angegeben sind, so ist nur Folgendes zu bemerken. Die Scheibe

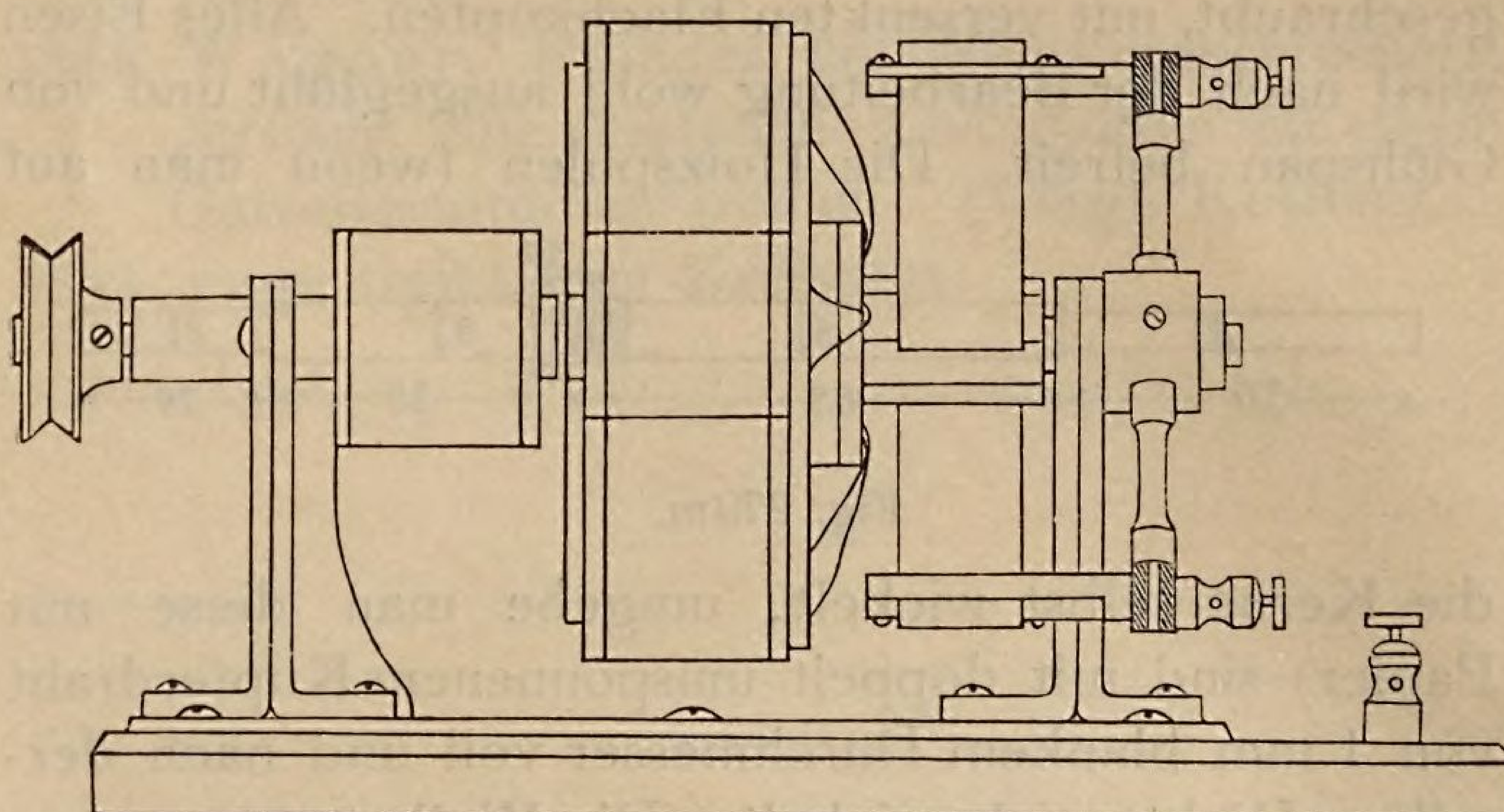


Fig. 270k.

aus weichem Eisen muss mit ihren 6 Magneten, deren Enddrähte durch oder um die Scheibe gezogen und wie beim Gramme-Ring zum 6teiligen Kommutator (Fig. 293, 296b und 311) gezogen sind, ohne jedes Schwanken in der senkrechten Ebene vor dem

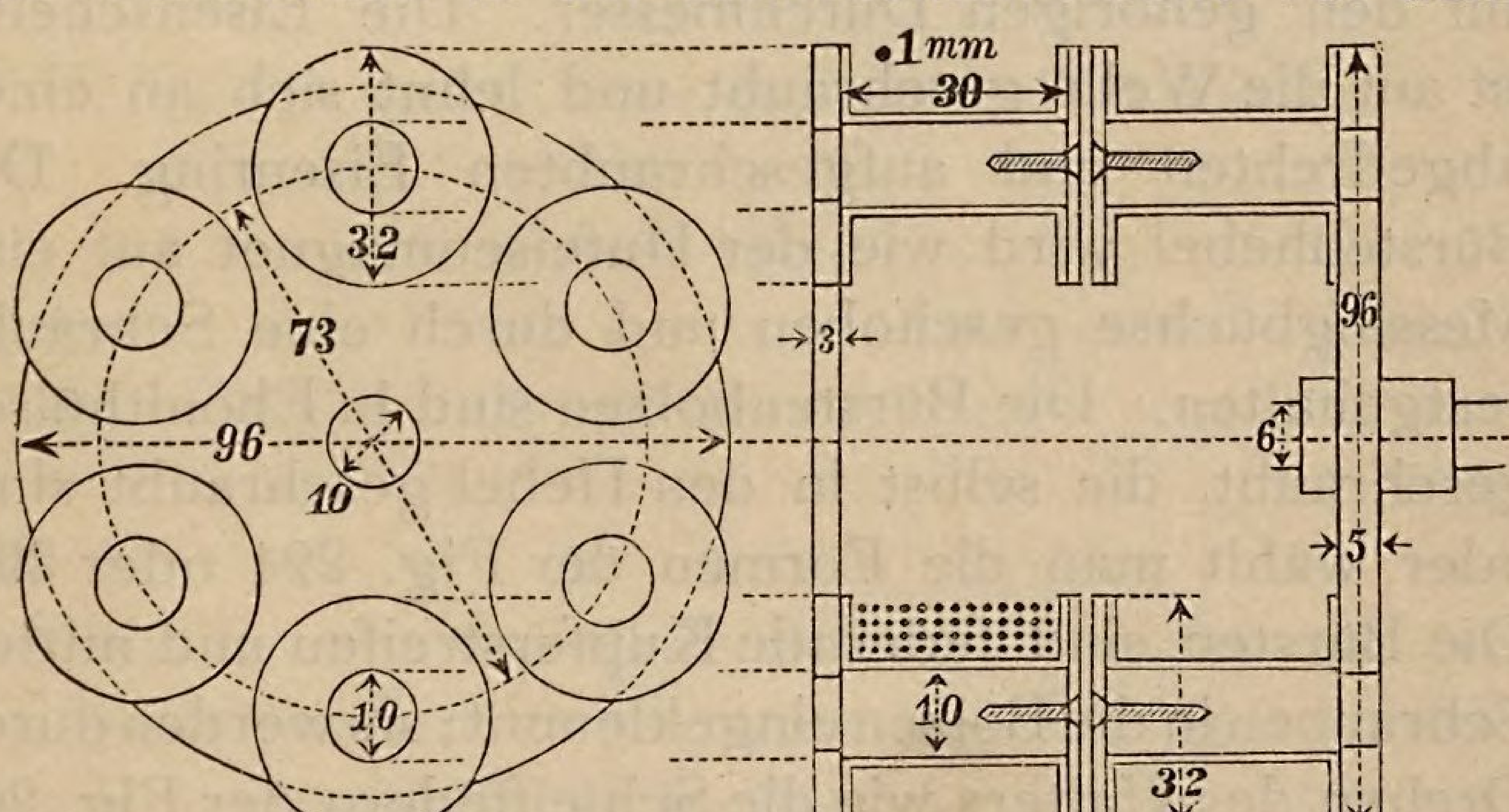


Fig. 270l.

Hufeisenmagneten sehr nahe rotieren, wie in Fig. 270k gezeichnet. Auf die sorgfältig eingenieteten Eisenkerne sind Eisenscheiben von 2 mm Dicke angeschraubt, mit versenkten Flachköpfen. Alles Eisen wird nach der Bearbeitung wohl ausgeglüht und von Glühspan befreit. Die Holzspulen (wenn man auf

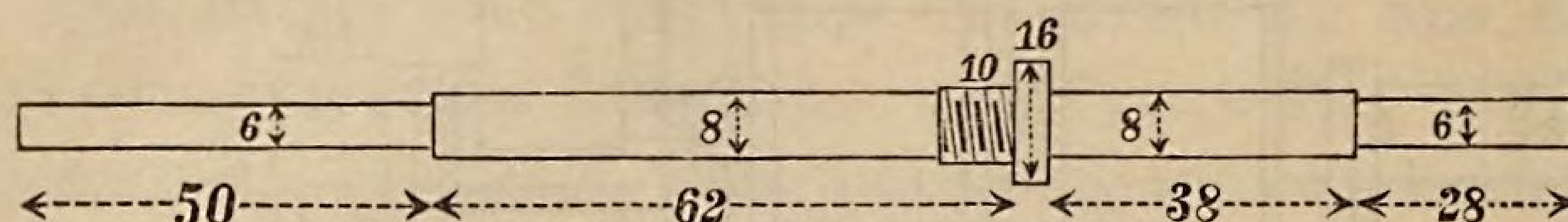


Fig. 270m.

die Kerne selbst wickelt, umgebe man diese mit Papier) sind mit doppelt umsponnenem Kupferdraht von 1 mm blankem Durchmesser voll und nach derselben Richtung bewickelt. Die Wellenträger, etwa 60 mm hoch und 30 mm breit, können aus Messingblechen von 3 mm Dicke hergestellt werden; man lötet je zwei zusammen. Die Welle läuft in Messingbüchsen, die in die Träger gelötet sind. Man bohrt zuerst das Wellenloch und dreht erst hernach die Welle auf den gehörigen Durchmesser. Die Eisenscheibe ist auf die Welle geschraubt und lehnt sich an einen abgedrehten und aufgeschraubten Eisenring. Der Bürstenhebel wird wie der Hufeisenmagnet auf eine Messingbüchse geschoben und durch eine Schraube festgehalten. Die Bürstenbolzen sind in Ebonithülsen geschraubt, die selbst in den Hebel geschraubt sind, oder wählt man die Formen der Fig. 294 oder 295. Die Bürsten sind federnde Kupferstreifen und mittels Schrauben in die Bolzen eingeklemmt; sie werden durch Drehen des Halters wie die Schleiffedern der Fig. 265 bis 270a gestellt. Die Maschine wiegt etwa 2 kg.

Geschichtliches.

1839. Jakobi fährt mit einem Galvanomotor auf der Newa.

1844. Wagner, Erfinder des Selbstunterbrechers, versucht eine elektrische Lokomotive mit einem Galvanomotor zu treiben. (Vergl. Kosten.)

1852. Page treibt eine Kreissäge.

Kapitel XIV.

Magnetelektrische und dynamoelektrische Maschinen.

Scheibe von Faraday.*) Begriff der magnetelektrischen Stromerzeuger.

Fig. 271 a u. b. Zwischen den Polen eines starken Stahlmagneten rotiert eine Kupferscheibe von etwa 10 cm Durchmesser und 2 bis 3 mm Dicke.

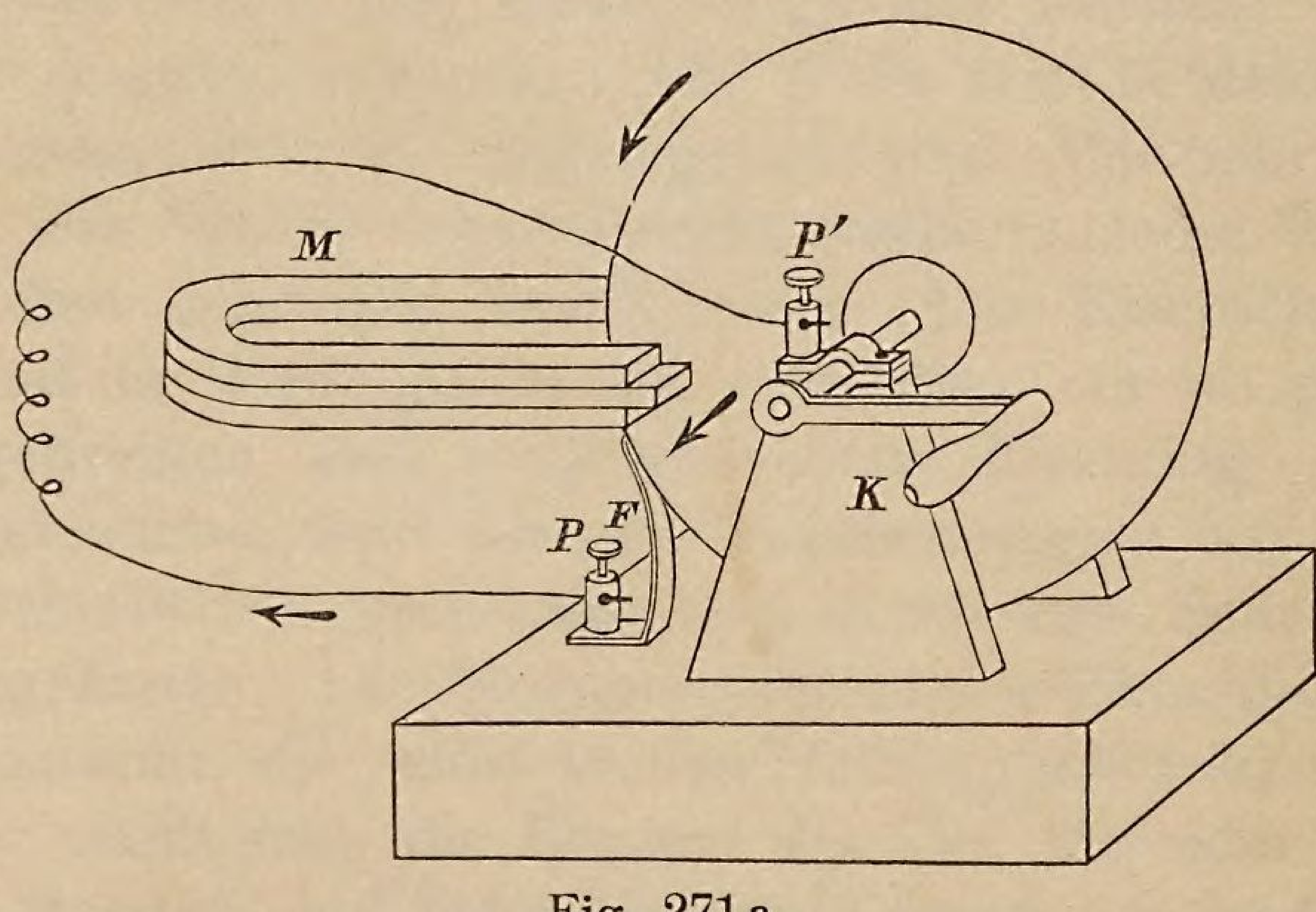


Fig. 271 a.

Der durch die Rotation der Scheibe entstehende Strom wird von der Achse und dem Rand abgenommen

*) Faraday 1791—1867.

und von den Polklemmen P und P' in den äusseren Stromkreis geleitet. Die Scheibe rotiert zwar zwischen zwei Polen, allein jeder Radius schneidet die von N ausgehenden Kraftlinien bei einer Umdrehung nur einmal; man nennt daher diese Induktion eine u n i p o l a r e; sie erregt ihrem Wesen nach Gleichströme. Da man aber zwischen beiden Polen in dieser Weise nicht mehrere Leiter hintereinander schalten kann, so beträgt die erregte EMK höchstens einige Volt; dagegen kann die Stromstärke in der nahezu widerstandslosen Scheibe so anwachsen, dass diese sich bei nichtabgeleitetem Strome bedeutend erwärmt; die Ströme werden dann zu Wirbelströmen.

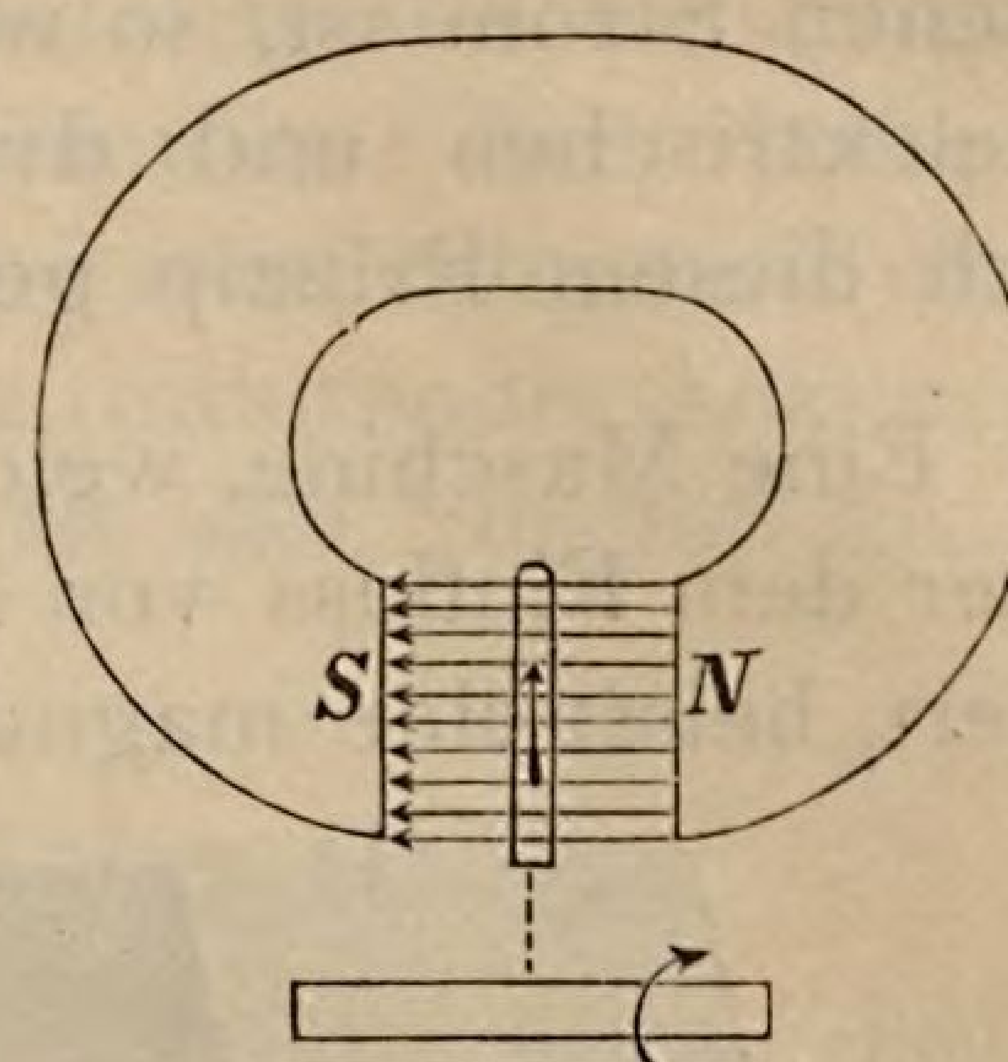


Fig. 271b.

In Fig. 271c schneidet der Leiter a bei jeder Umdrehung die Kraftlinien zweimal, zwischen a N a' treten diese von der einen Seite und zwischen a' S a von der anderen Seite in die Leiterschleife; die entstandenen Ströme sind also Wechselströme, diese Induktion nennt man daher b i p o l a r e. Bei dieser Anordnung können mehrere Leiter in Hintereinanderschaltung das magnetische

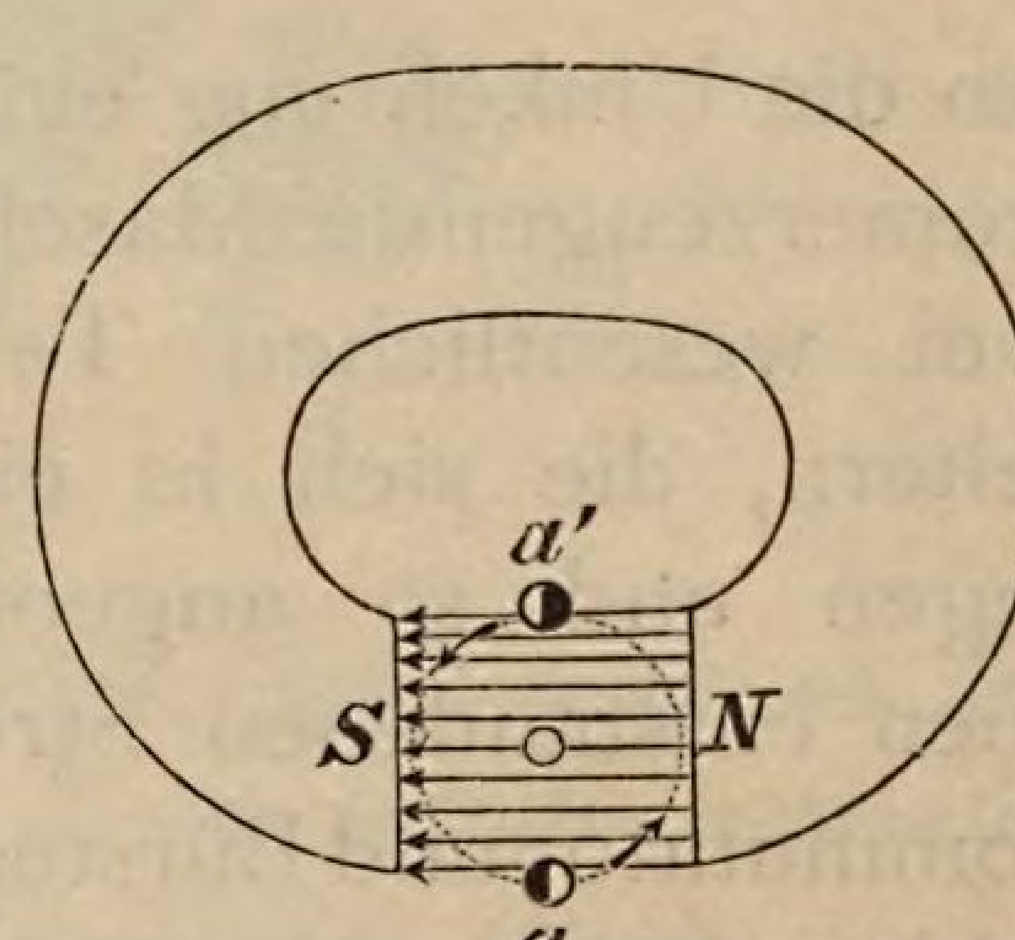
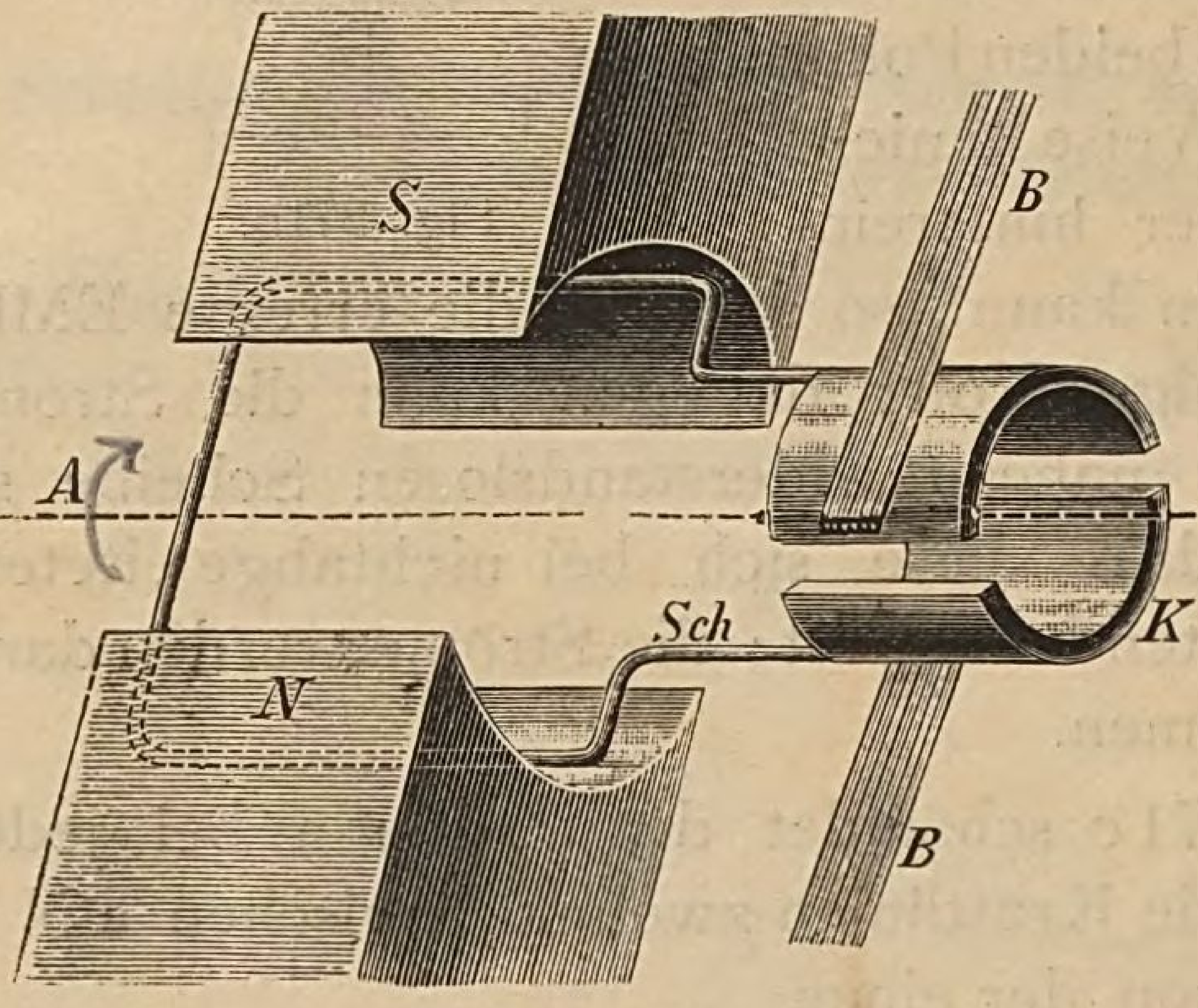


Fig. 271c.

Feld durchschneiden (Vergl. Doppel-T-Anker) und darum eine bedeutende EMK liefern. Und da die EMK das entscheidende Moment für einen elektrischen Strom ist, so werden nahezu sämtliche magnetelektrischen und dynamoelektrischen Maschinen nach diesem Prinzip gebaut.

Eine Maschine, welche durch mechanische Arbeit unter dem Einfluss von Magneten elektrische Ströme liefert, heisst eine magnetelektrische Maschine; sie ist



A Achse;
A Bürste;
K Kommutator;
Sch Schleife.

Fig. 271d.

also die Umkehrung eines Elektromotors. Eine solche stromerzeugende Maschine besteht (Fig. 271 d) aus zwei wesentlichen Teilen; 1) einem System von Leitern, die sich in einem magnetischen Felde bewegen und so angeordnet sind, dass man die in ihnen entstandenen Ströme sammeln kann; Schleife, Kommutator und Bürsten, und 2) aus dem magnetischen Felde, das durch Stahlmagnete oder Elektromagnete gebildet ist, N und S. Die Pole N und S

sind kreisförmig ausgebohrt, damit die Schleife in der Ausbohrung um die Achse rotieren kann.

Bei einem magnetischen Felde, das durch Stahlmagnete hervorgebracht wird, ist die Leistung der Maschine von den Dimensionen und der Stärke der Magneten abhängig. Doch der wichtigste Teil der Maschine ist der im Felde rotierende Anker; auf dessen Konstruktion hat man alle Sorgfalt zu verwenden.

Der Doppel-T-Anker (1857)

(Fig. 272) hat seinen Namen von der Form, die ihm sein Erfinder Siemens gegeben hat. Er muss aus sehr weichem Eisen bestehen: man kann ihn zwar giessen lassen, es ist aber besser, ihn aus Schmiedeeisen herzustellen. Dies erfordert freilich Geduld und Geschicklichkeit; beide Eigenschaften muss sich der praktische Elektriker doch aneignen, wenn er befriedigende Resultate erreichen will. Ein Rundeisen von 3 cm Durchmesser und 15 cm Länge wird

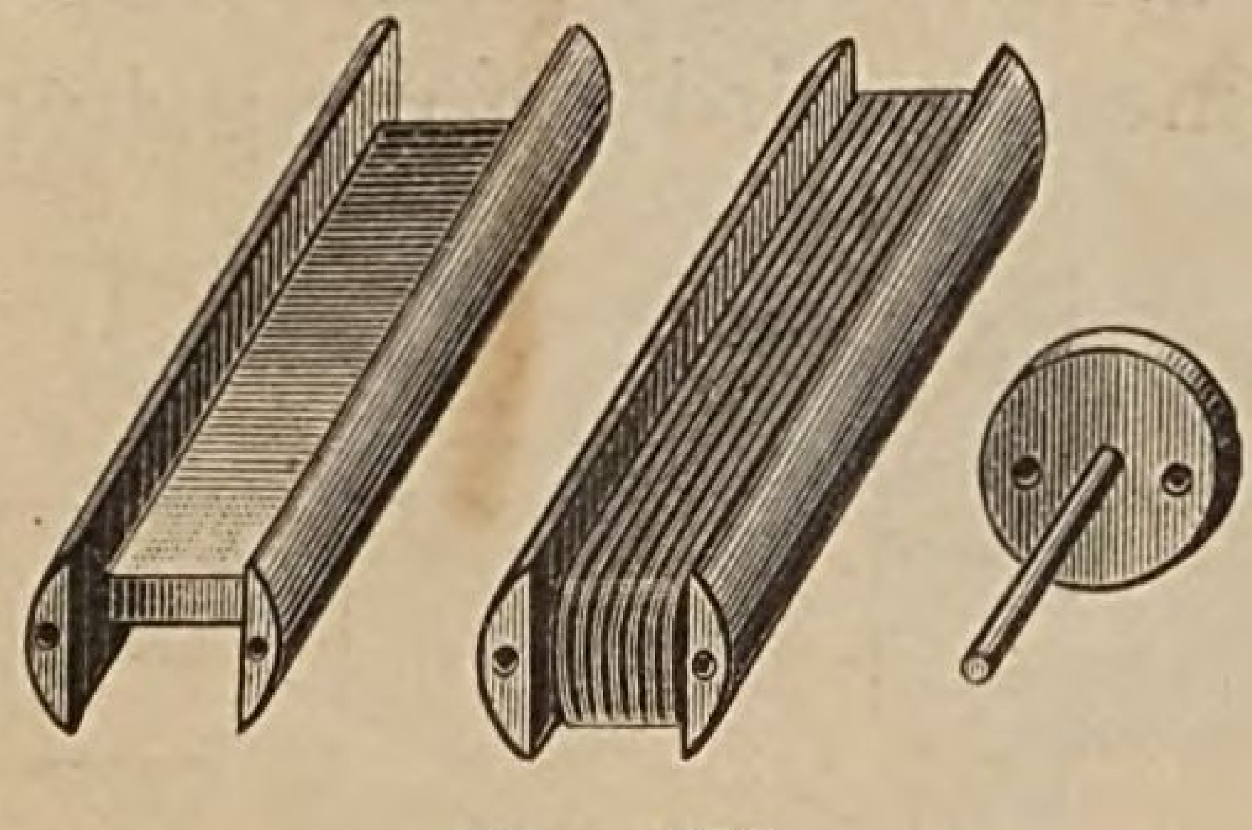


Fig. 272.

mittels einer groben Feile der Länge nach so ausgearbeitet, dass Rinnen von 2 cm Breite entstehen und das zwischen ihnen befindliche Stück noch 8 bis 10 mm dick ist; ebenso tief feilt man an den

Enden ein und rundet daselbst die Kanten ab. An den T-förmigen Stirnflächen der Lappen bohrt man symmetrisch zwei Löcher und schneidet Gewinde ein, damit man nach dem Aufwinden des Drahtes an diese Stirnflächen kreisrunde Messingplatten von 3 mm Dicke und 3 cm Durchmesser aufschrauben kann. In die Mittelpunkte dieser Messingplatten sind Stifte von 6 bis 7 mm Dicke und 5 cm Länge eingeschraubt und eingelötet. Um diese Stifte muss der Cylinder vollkommen rund laufen. (Fig. 279 e).

Zwar lässt sich dieser Cylinder auch so anfertigen, dass man an ein Stück Flacheisen von 8 bis 10 mm Dicke und 2 cm Breite Halbrundeisen von 1 cm Dicke anschraubt; doch ist die Arbeit bei guter Ausführung kaum geringer und weniger solid, als bei der ersten Herstellungsweise.

Der so zugefeilte Cylinder wird sorgfältig ausgeglüht, vom Zunder mit Schmirgelpapier oder Salzsäure gereinigt und mit Schellack lackiert.

Eine leichter anzufertigende Form zeigt Fig. 273 a. Eine dickwandige Eisenröhre vom erforderlichen Durchmesser wird auf die gehörige Länge ab-

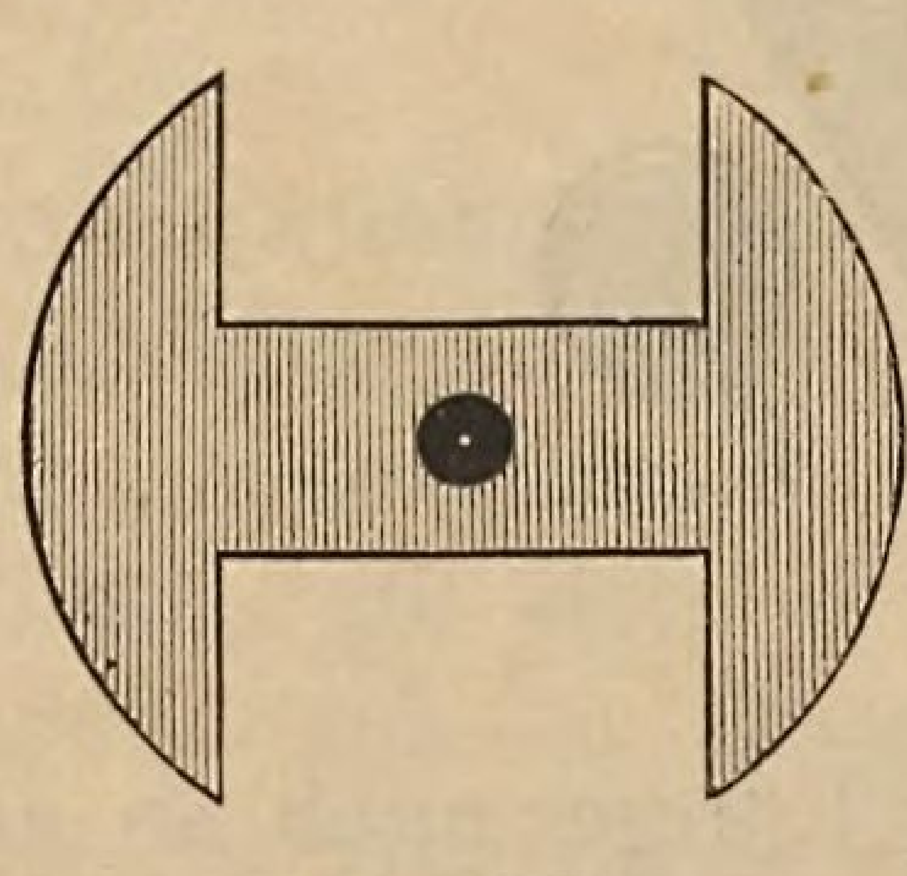


Fig. 273.

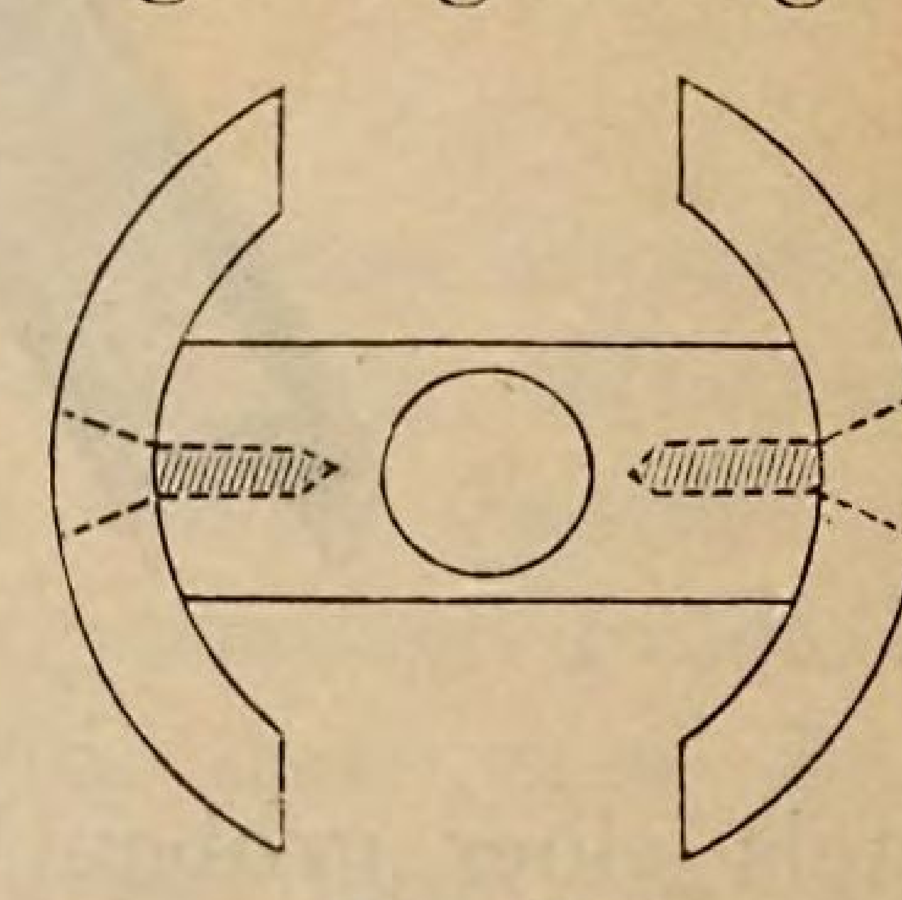


Fig. 273a.

geschnitten, dann ein Eisenstück von derselben Länge sorgfältig eingepasst und mit je 3 versenkten

Schrauben festgehalten; endlich werden von der Röhre Stücke ausgeschnitten; man erhält so einen Raum, der viel Draht fasst.

Von Fabrikanten wird der Anker für kleinere Dynamomaschinen, die einige 4 bis 8 kerzige Lampen speisen, aus ausgestanzten Eisenblechscheiben zusammengesetzt. Diese Scheiben sind $\frac{1}{2}$ bis $\frac{3}{4}$ mm dick, ausgeglüht vom Glühspan gereinigt, und werden so aneinander gereiht, dass zwischen je zwei Blechscheiben eine gleich grosse gefirnisste, sehr dünne Papierscheibe gepresst wird. Die Achse bekommt dann zwei Endschrauben, mittels denen der ganze Anker dicht zusammengehalten wird. Die Vorzüge dieser freilich schwierigeren Konstruktion werden wir bei der Beschreibung der Ankerkonstruktion von Dynamomaschinen ersehen.

Die Figur zeigt die wirkliche Grösse für unsere magnetelektrische Maschine.

Der Draht wird der Länge nach in die Ankerrinnen möglichst parallel und immer in der gleichen Richtung von Hand aufgewunden, bis der Cylinder wieder den Durchmesser von 3 cm hat. (Fig. 274.)

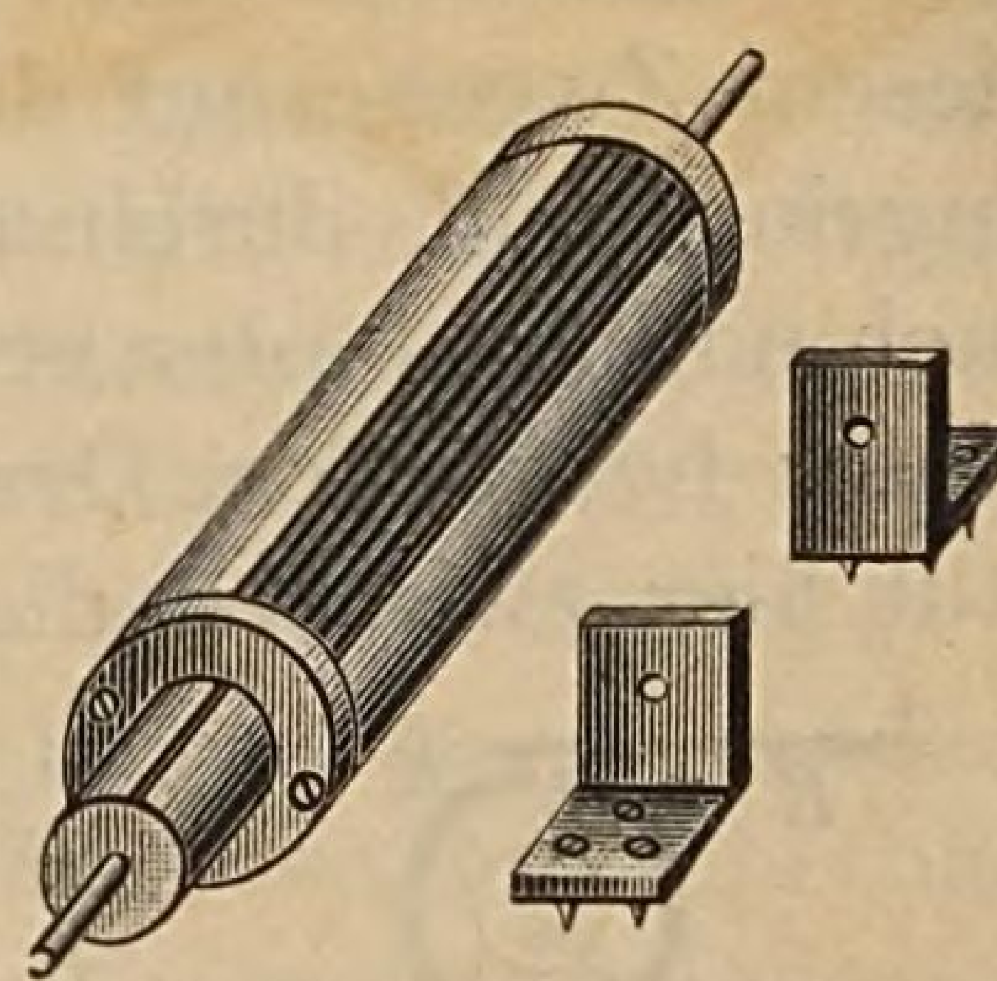


Fig. 274.

Will man viele Volt oder hohe Spannung, so wickelt man feinen seidenumsponnenen Draht von 0,2 bis 0,3 mm Dicke auf; mehr Ampère oder grössere Stromstärke erreicht man mit dickem Draht von 0,6 bis 1 mm Durchmesser.

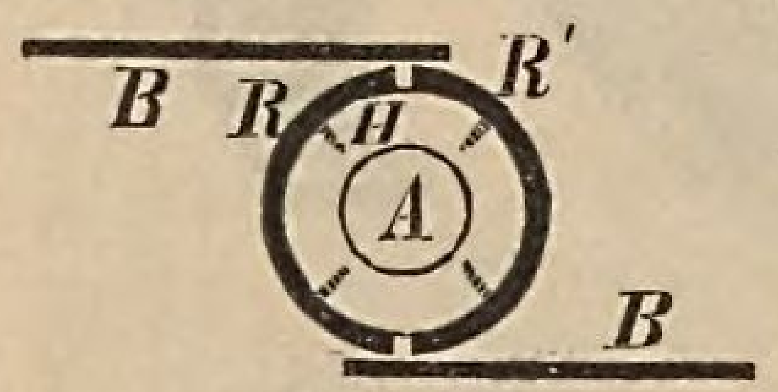
Ein Doppel-T-Anker von 100 mm Länge, 50 mm

Durchmesser und Nuten von 35 × 10 mm kann, mit 340 g Draht von 1 mm Durchmesser blank in 200 Windungen bewickelt, in einem geeigneten Felde einen Strom von 35 Volt und 6 Ampère erzeugen.

Nach dem Aufwinden des Drahtes schraubt man die Stirnscheiben auf und lötet oder keilt an den einen Stift einen Wirtel mit Schnurlauf (3 bis 4 cm Durchmesser) und bringt am andern Stift, an dem die Drahtenden liegen, je nachdem man Wechselströme oder Gleichströme und mit letzteren zugleich einen Motor zu haben wünscht, an:

a. einen durch unterlegtes und lackiertes Papier oder durch Holzring von dem Stifte isolierten Kupfer- oder Messingring von 1 mm Dicke — Wechselströme; oder

b. (Fig. 275) zwei Halbringe, die auf einen Holzring geschraubt sind (die Schrauben dürfen den Stift durchaus nicht berühren); man befestigt zu diesem Zwecke auf den Holzring einen vollen Messingring und durchsägt ihn diametral der Länge nach und am besten etwas schief — Gleichströme; Motor bei dickem Draht. Der Schnitt der Halbringe fällt hier zwischen die Lappen.



A *Achse;*
H *Holzring;*
R R' *Kommutator-Halbringe;*
B B *Bürsten.*

Fig. 275.

Im ersten Falle lötet man ein Drahtende an die Ankerachse und das andere an den Ring; im zweiten Fall lötet man die Drahtenden an die beiden Halbringe des Kommutators oder Stromwenders,

die Drahtenden werden isoliert durch die vordere Endscheibe des Ankers durch Bohrungen gezogen.

Diese Wickelung des Ankers ist eine *offene*, während die im Folgenden beschriebenen Anker *geschlossene* Wickelungen enthalten.

Der fertige Anker kommt nun auf ein Grundbrett von 30 cm Länge und 20 cm Breite zwischen zwei Träger von 3 cm Höhe. Jeder Träger besteht aus einem Messingblech von 2 bis 3 mm Dicke und 2 cm Breite, ist rechtwinklig umgebogen und wird mit 3 Holzschrauben auf das Grundbrett befestigt. (Fig. 276.)

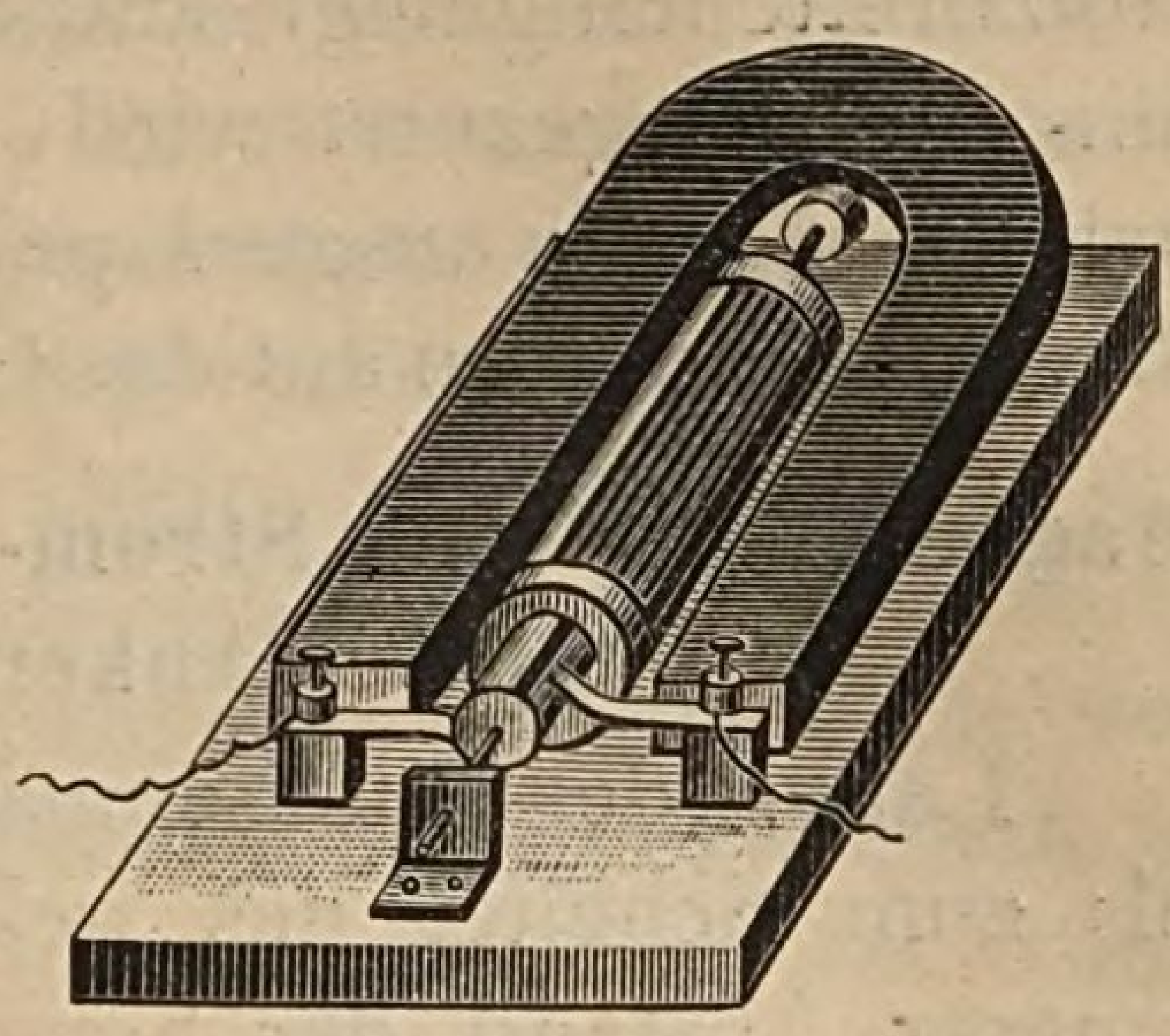


Fig. 276.

Hat man bloss einen Ring auf den Achsenstift gekittet, so wird die eine Polklemme mit dem vorderen Achsenträger verbunden und von der anderen Polklemme her schleift eine harte Messing- oder Kupferfeder auf dem Metallring; man erhält Wechselströme.

Hat man einen Kommutator mit zwei Halbringen auf die Ankerachse gesteckt, so leimt man zu beiden Seiten des Kommutators Holzklötzchen und schraubt auf diese die stromaufnehmenden Federn oder Bürsten mittels der Polklemmen. Das eine Holzklötzchen wird um die Dicke des Kommutators höher gemacht als das andere.

Um den montierten Anker ist endlich noch das *magnetische* Feld oder der Stahlmagnet oder das Stahlmagnetmagazin anzubringen. Dieser Magnet

ist 1 cm dick, 20 bis 25 cm lang und 10 cm breit, die Ankerbreite von 3 cm mit einbegriffen; die Schenkel müssen genau parallel und dem Anker möglichst nahe sein. Damit seine Dickenmitte in die Mittelebene der Ankerachse fällt, wird er auf Holzbrettchen gelegt und damit er vom Anker nicht hin- und hergezerrt wird, durch eine in der Mitte halbkreisförmig ausgeraspelte Querleiste mittels langer Messingschrauben auf das Grundbrett sicher befestigt.

Magnetelektrische Strom- und Triebmaschine mit Doppel-T-Anker nach Trouvé.

Länge des Hufeisenmagnets von den Polflächen bis zum Scheitel des gekrümmten Teils 145 mm. Innerer Abstand der Schenkel 33 mm. Dicke des Magazins 75 mm. Durchmesser des Ankers 32 mm. Länge des Ankers 60 mm. Gewicht des Magnets 1,70 kg. Gewicht des ganzen Apparats 2,85 kg. Die in der Sekunde entwickelte Arbeit beträgt

	0,04	1,20	0,45	0,75	1,4	1,80	kgm
mit	1	2	3	4	5	8	Bunsen-Elementen.

Bemerkungen zum Doppel-T-Anker. Für die Wirkungsweise des Apparats kommt es viel auf die Form des Ankers an. Sind die Lappen des Ankers etwas klein, so dass sie den Raum zwischen den Polflächen der Stahlmagneten nicht ausfüllen (Fig. 279c), so wird der Magnetismus des Ankers ruckweise geändert. Von der neutralen Stellung ausgehend, wird bei der Rotation der eine Lappen erst seinen Magnetismus verlieren, dann in der dazu senkrechten Stellung einen Moment unmagnetisch bleiben, hierauf südmagnetisch werden, die andere neutrale Lage passieren, den Südmagnetismus plötz-

lich verlieren, wieder einen Moment unmagnetisch bleiben, um hierauf, in die Ausgangslage zurückgekehrt, wieder nordmagnetisch zu werden. Diese Anordnung eignet sich für physiologische Wirkungen.

Das Gegenstück hiervon bildet ein Anker, dessen Lappen so breit sind, dass sie von dem einen Polschuhe des Stahlmagneten zu dem andern übergreifen. Es kann dann nie geschehen, dass ein Lappen den Magnetismus vollständig verliert, sondern in der Grenzlage wird die eine Hälfte nordmagnetisch und die andere südmagnetisch sein. Der Magnetismus ändert sich stetig und langsam. Beide Fälle sind zum Betriebe eines Läutwerks wenig geeignet, es kommt hier darauf an, eine möglichst grosse Menge Elektricität zu erzeugen.

Man muss durch das Experiment die richtige Form des Ankers und die geeignete Qualität des Eisens, welche auf die Stromkurve (XIV Schluss) jedenfalls einen grossen Einfluss ausübt, bestimmen. Sehr starke Magnete und sehr weiches Eisen sind die Haupterfordernisse. Ferner muss der Anker genau in den von den Polschuhen (die auf die Magnetpole geschraubten, cylindrisch ausgedrehten Eisenstücke) gebildeten Raum (Fig. 271 und 279) hineinpassen und die Lappen den Zwischenraum zwischen denselben ausfüllen.

Einige Versuche mit der magnetelektrischen Maschine.

1) Hat man dicken Draht auf den Anker gewunden und einen Kommutator angebracht, so vermag die beschriebene Maschine, rasch getrieben, einen Strom

von 3 bis 4 Elementen zu liefern, und solche somit in der Galvanoplastik und Galvanostegie zu ersetzen.

2) In diesem Falle stellt er auch einen Motor dar, der wirkliche Dienste leisten kann: er treibt Nähmaschinen und andere Apparate, wenn man den Strom einer Batterie oder eines Accumulators hindurchsendet; seine Verwendung ist aber da noch wichtiger, wo man ihm den Strom von Centralstellen zuführt.

3) Ist viel feiner, wohllackierter Draht auf den Anker gewunden und ist kein Kommutator angebracht, so verspürt man schon beim Umdrehen von Hand, wenn man die feuchten Finger der andern Hand auf die Polklemmen drückt, Zuckungen, wie beim Entladen einer kleinen Leydner-Flasche.

4) Diese Wechselströme (vergl. Stromkurven) vermögen grosse Widerstände zu überwinden und sind daher besonders zur Übertragung auf weite Entfernungen geeignet. Für Wechselströme verwendet man aber bei Läutwerken Elektromagnete mit Ankern aus Stahlmagneten. Wird ein Stahlmagnet als Anker zwischen den Kernen eines Elektromagneten so angebracht, dass er sich zwischen ihnen bewegen kann, so wird beim Eintreten des galvanischen Stromes in die Windungen des Elektromagneten der Stahlmagnet von dem einen Pol angezogen und von dem andern abgestossen, kehrt man den Strom um, so wird der Stab von eben dem Kern abgestossen, der ihn zuvor angezogen hatte. Elektromagnete mit derartigen magnetischen Ankern nennt man Elektromagnete für Wechselströme.

Figur 277 illustriert eine solche für Wechselströme eingerichtete Klingel. Der Stahl-

magnet ist rechtwinklig umgebogen und der senkrecht hängende Teil breitgeschlagen; seine wagrechte Hälfte schwebt zwischen zwei Schraubenspitzen, die in Vertiefungen (Kernen) desselben eingeschlagen oder eingebohrt sind. Der senkrechte Teil hängt vor den Polen eines kleinen, mit feinem Draht (0,3 mm) umwickelten Elektromagneten. Durch die das Gewinde durchfliessenden Wechselströme wird der Magnet hin- und hergeworfen und damit auch der auf ihm eingeschraubte Hammer, der zwischen zwei Glocken schwebt, die durch eine Querleiste einer Säule getragen werden. — Maassstab $\frac{1}{2}$—$\frac{1}{3}$.

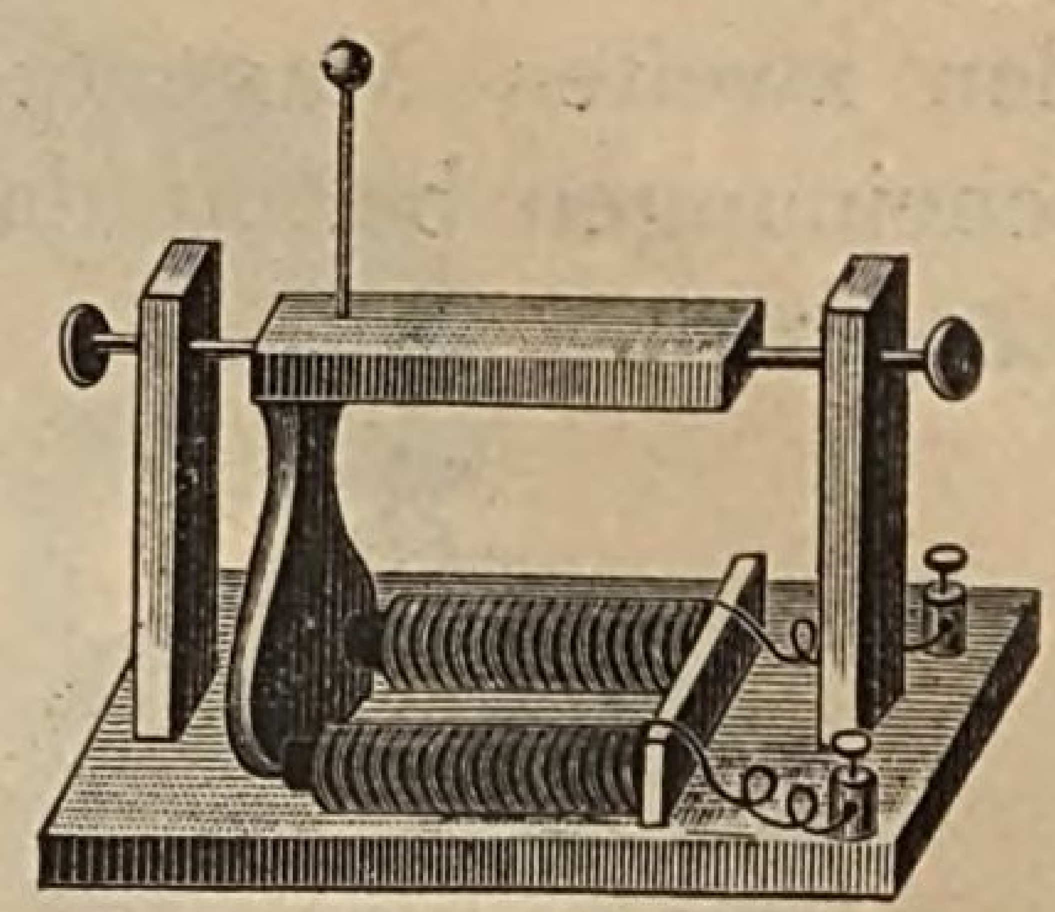


Fig. 277.

5) Eine andere Art sind die **polarisierten Elektromagnete für Wechselströme** (Fig. 278). Befestigt man einen gewöhnlichen Elektromagneten auf dem Pol eines Stahlmagneten, so besitzen seine beiden Enden dieselbe Polarität; ist er z. B. auf den Nordpol befestigt, so sind beide Enden nordpolarisch. Schwebt nun ein magnetischer Anker mit seinem Südpol vor beiden, so wird er von beiden angezogen, fällt aber an denjenigen, dem er näher steht. Fliesst jetzt ein Strom durch die Bewickelung des Elektromagneten, so wird in dessen einem Kern der Nordmagnetismus geschwächt, im andern verstärkt. Liegt der Anker bereits an dem Kern, dessen Magnetismus verstärkt wird, so bleibt er unbewegt; liegt er aber an dem andern Kern, so tritt eine Bewegung des Ankers vom schwächer zum

stärker magnetisierten Kern ein. Sendet man nun durch die Bewickelung eines derart polarisierten Elektromagneten Wechselströme, so bringen sie den Anker in eine hin- und hergehende Bewegung. Der Anker ist bei dieser Anordnung gewöhnlich auf den zweiten Magnetpol gelagert. Auf diesen Erscheinungen beruht das im Folgenden beschriebene Läutwerk.

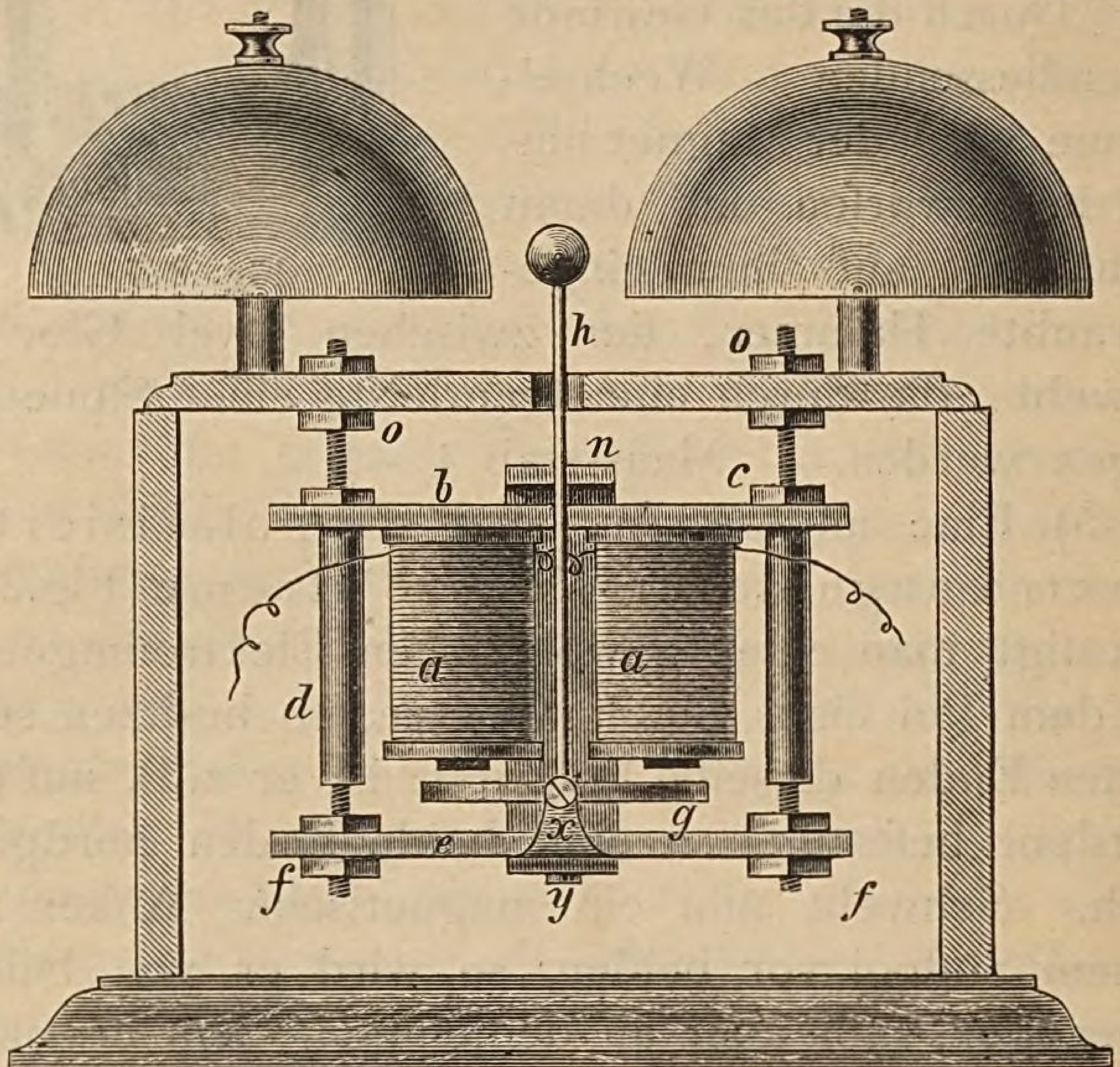


Fig. 278 a.

Fig. 278 a und b stellen das Läutwerk in halber Grösse dar und zwar 278 a im Durchschnitt und 278 b in Seitenansicht: a a sind die Spulen des Elektromagneten, dessen Kerne in das Joch b genietet sind. Dieses Joch ist mittels zweier Schrauben c c an die Messingstäbe d d befestigt, deren untere Enden durch

die Messingplatte e e mittels der Schrauben f f verbunden sind. g ist der weiche Eisenanker, der den Hammer h trägt und der zwischen den Spitzen der

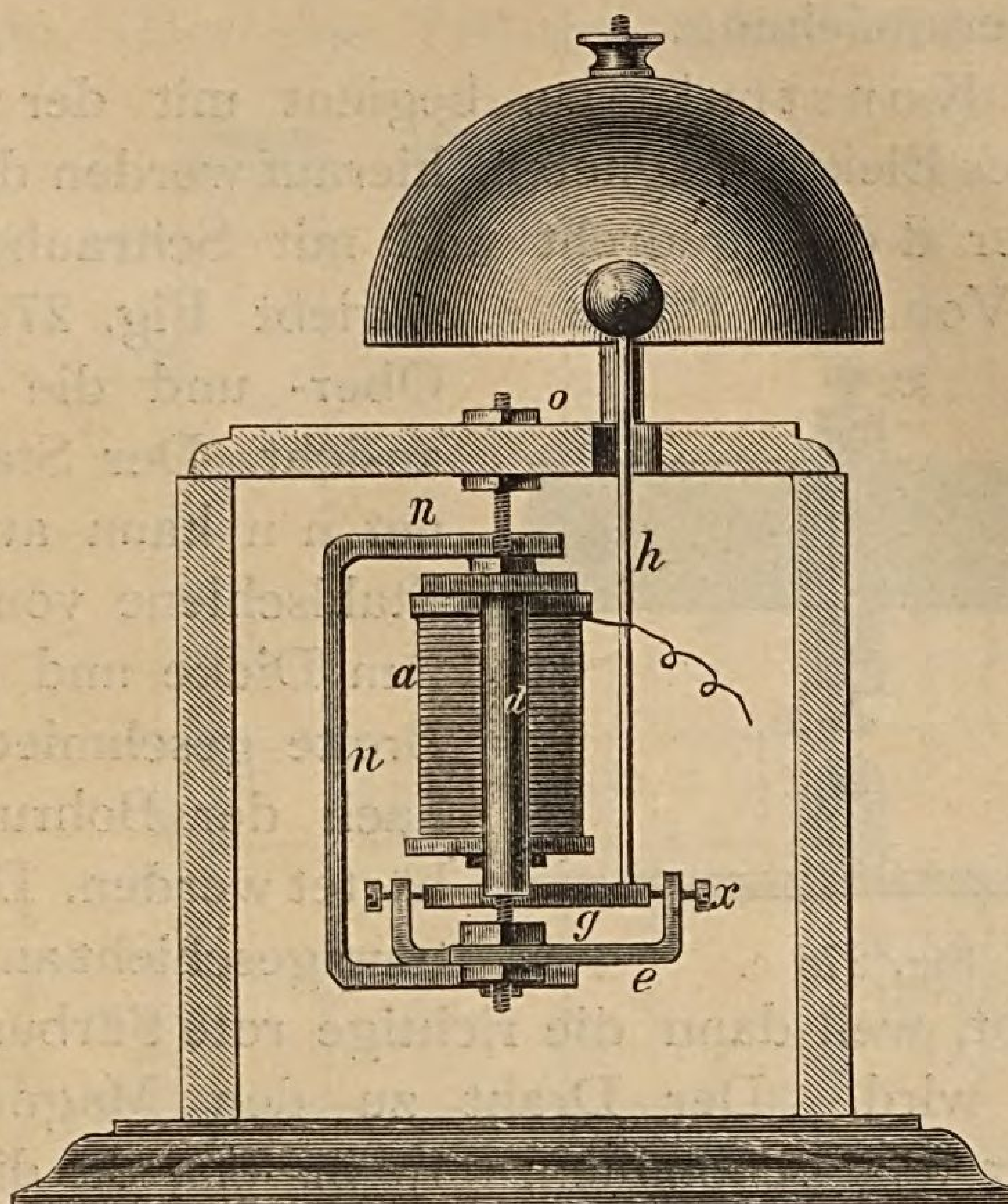


Fig. 278 b.

Schrauben x x leicht drehbar ist. (Fig. 278 c.) Der Nordpol des Stahlmagneten n ist das Joch b des Elektromagneten und der Südpol desselben an die Platte e geschraubt. Das Ganze wird an den oberen Enden der Messingstäbe mittels der Schrauben o o in die Platte des Holzrahmens befestigt, so dass der Hammer zwischen zwei Glocken schwebt.

Fliesst nun ein Strom durch die Rollen a a, so schwächt er den einen Magnetpol und verstärkt den andern, der Anker wird also einerseits angezogen

und anderseits abgestossen, im nächsten Augenblick sendet der Stromerzeuger den Strom in der entgegengesetzten Richtung durch a a, die Polarität des Elektromagneten wird umgekehrt und damit auch die Ankeranziehung.

Die Konstruktion beginnt mit der Anfertigung des Elektromagneten, hierauf werden die Messingträger d d abgedreht und mit Schrauben versehen. Von der Platte e e giebt Fig. 278 c die Ober- und die Seitenansicht. Der Stahlmagnet n n kann aus einer Stahlschiene von 3 bis 5 mm Dicke und 30 mm Breite geschmiedet und nach der Bohrung gehärtet werden. Die Härtung geschieht am besten bei Nacht, weil dann die richtige rote Färbung eher gesehen wird. Der Draht zu den Magnetrollen wird sehr fein genommen, 0,15 bis 0,2, da diese Induktionsströme eine hohe Spannung, aber geringe Elektricitätsmengen besitzen. Nach dem Wickeln taucht man die Rollen in geschmolzenes Paraffin.

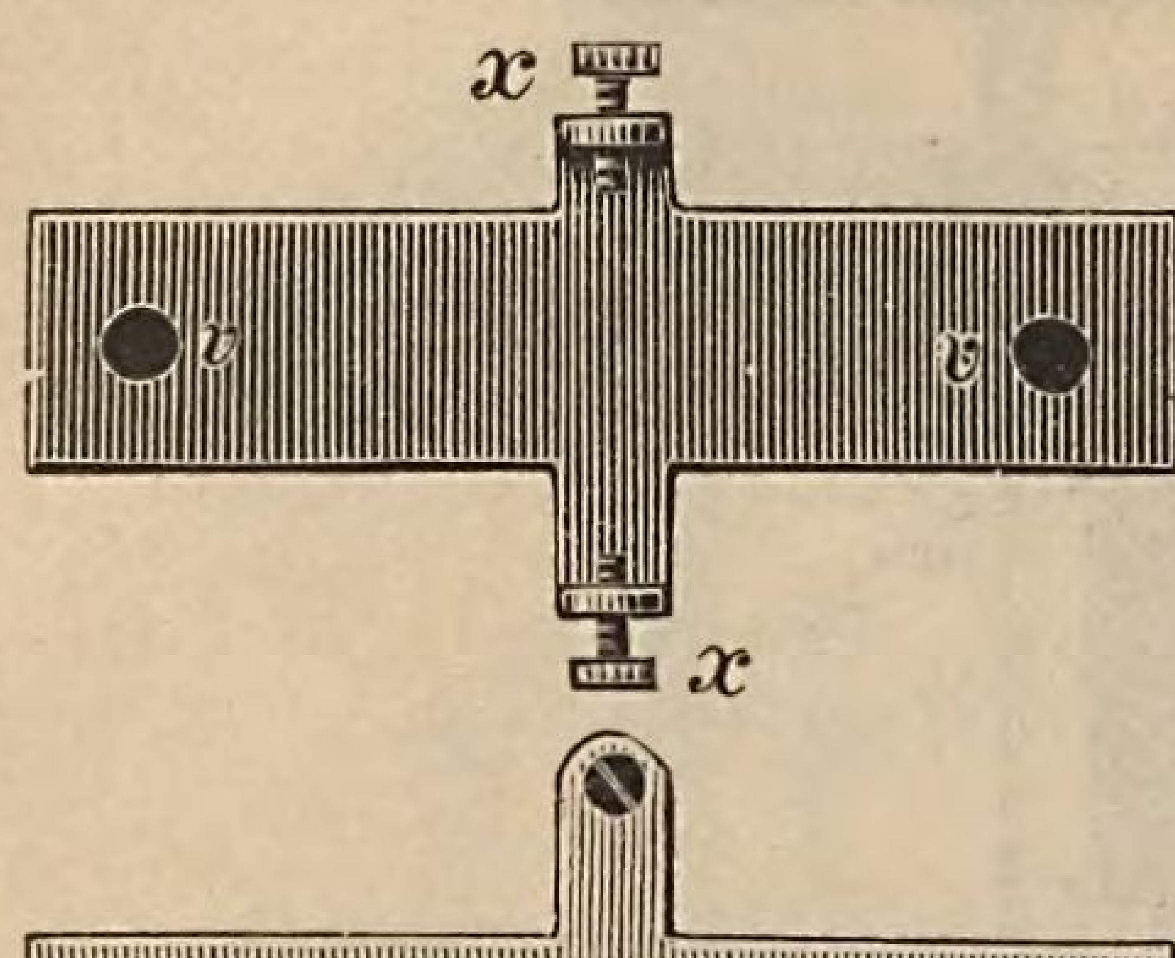


Fig. 278 c.

Läuteinduktor.

Übersicht. Fig. 279 a u. b. Die 3 Stahlmagnete m sind mittels der Messingpatte c an die Polschuhe p angeschraubt. An die Stirnseiten der Polschuhe p sind die Messingplatten a angeschraubt; in diesen rotiert die Ankerachse mittels der kleinen Riemenscheibe f und die Spindel d, auf welcher die An-

triebscheibe e sitzt und die mit der Kurbel g umgedreht wird.

Der Anker ist nach einem Holzmodell aus weichem Eisen gegossen und dann nach Fig. 279 e abgedreht. Der eine Teil der Achse wird konzent-

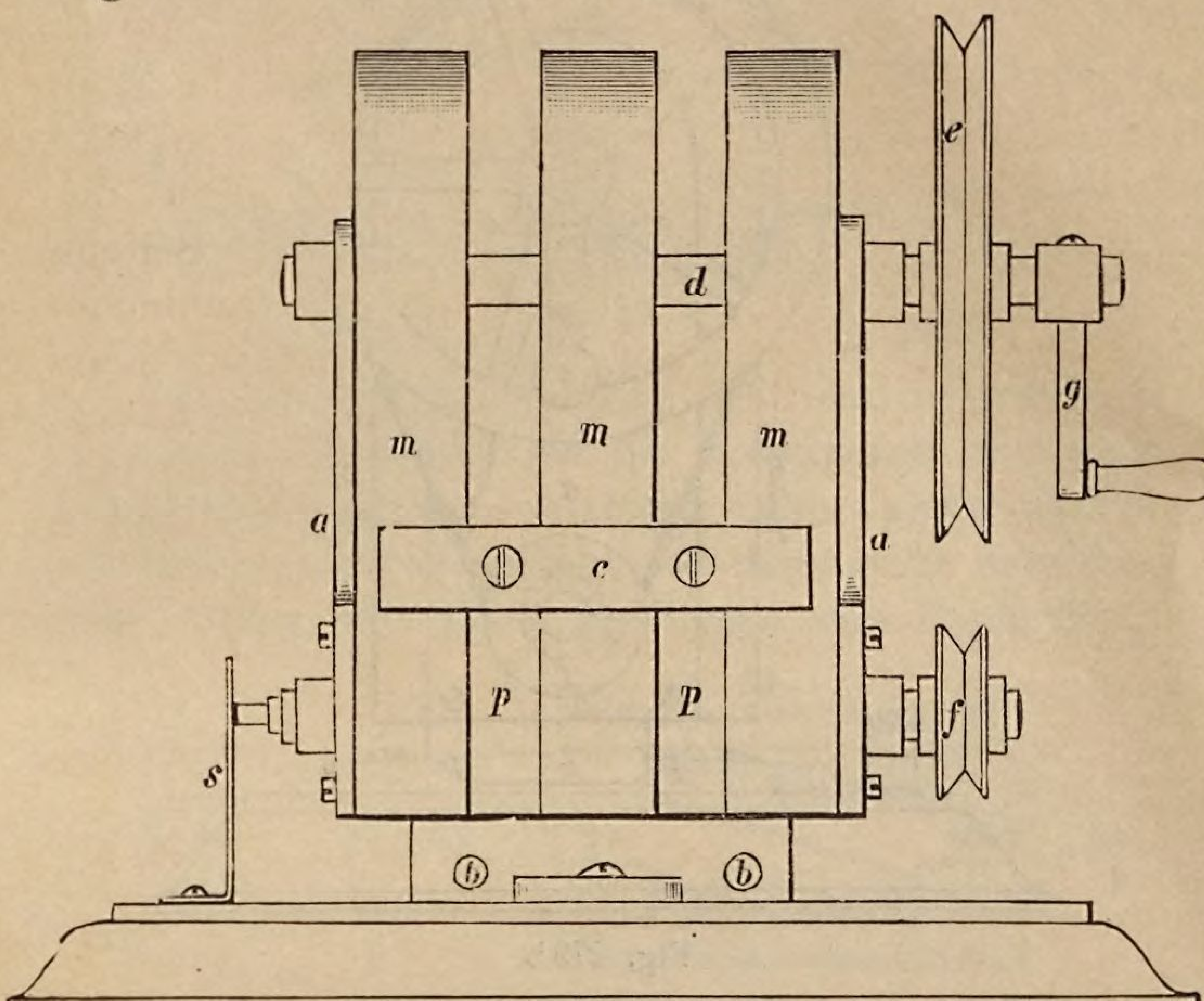


Fig. 279a.

risch ausgebohrt 279 f, in die Ausbohrung ein isolierter Kupferdraht befestigt und in diesen der Draht c geschraubt; an c wird ein Ende der Ankerbewickelung angelötet, wodurch ein Schleifring erspart wird, weil die an den Stift drückende Messingfeder s (Fig. 279 a) den Strom abnimmt. — Der abgedrehte Anker kommt in schmelzendes Paraffin und wird, während er noch warm ist, mit paraffiniertem Papier

im Wickelungsraum sorgfältig überkleidet. Bewickelt wird er erst, nachdem er zwischen die Polschuhe eingepasst ist; das zweite Ende des Drahtes wird

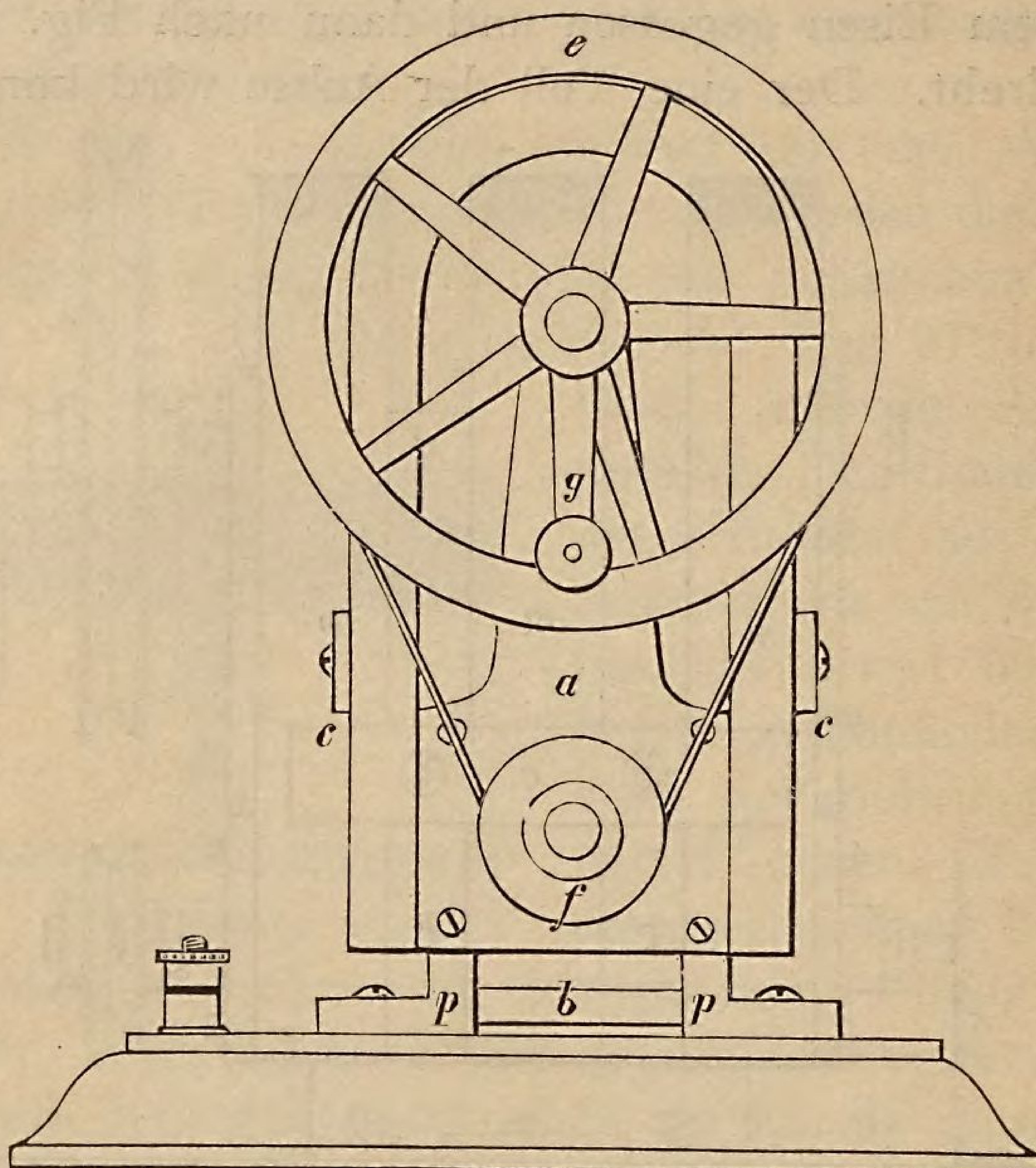


Fig. 279 b.

direkt auf die Achse geschraubt; 57 g von 0,1 mm Durchmesser werden genügen; jede Hälfte wird ganz aufgewickelt, ehe man zur andern Hälfte übergeht. Nach der Bewickelung wird der Anker nochmals in ein Paraffinbad gelegt.

Die Polschuhe werden gleichfalls gegossen; der Hohlraum hat 38 mm Durchmesser. Mittels der 4 Bolzen B (6mm dick) werden die Polschuhe zusammengehalten, (Fig. 279 c). Noch vor dieser Ver-

schraubung hat man in die Längsseiten und in die Stirnseiten je zwei Löcher c gebohrt.

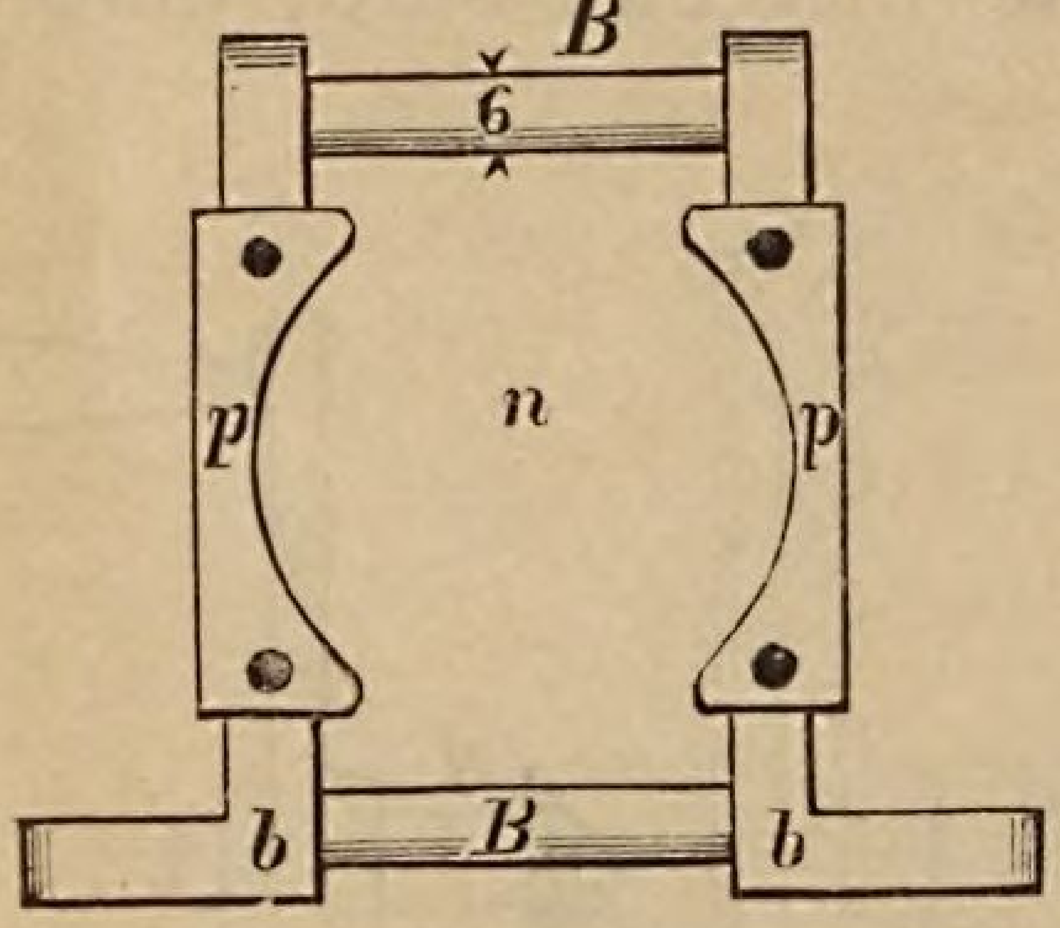


Fig. 279c.

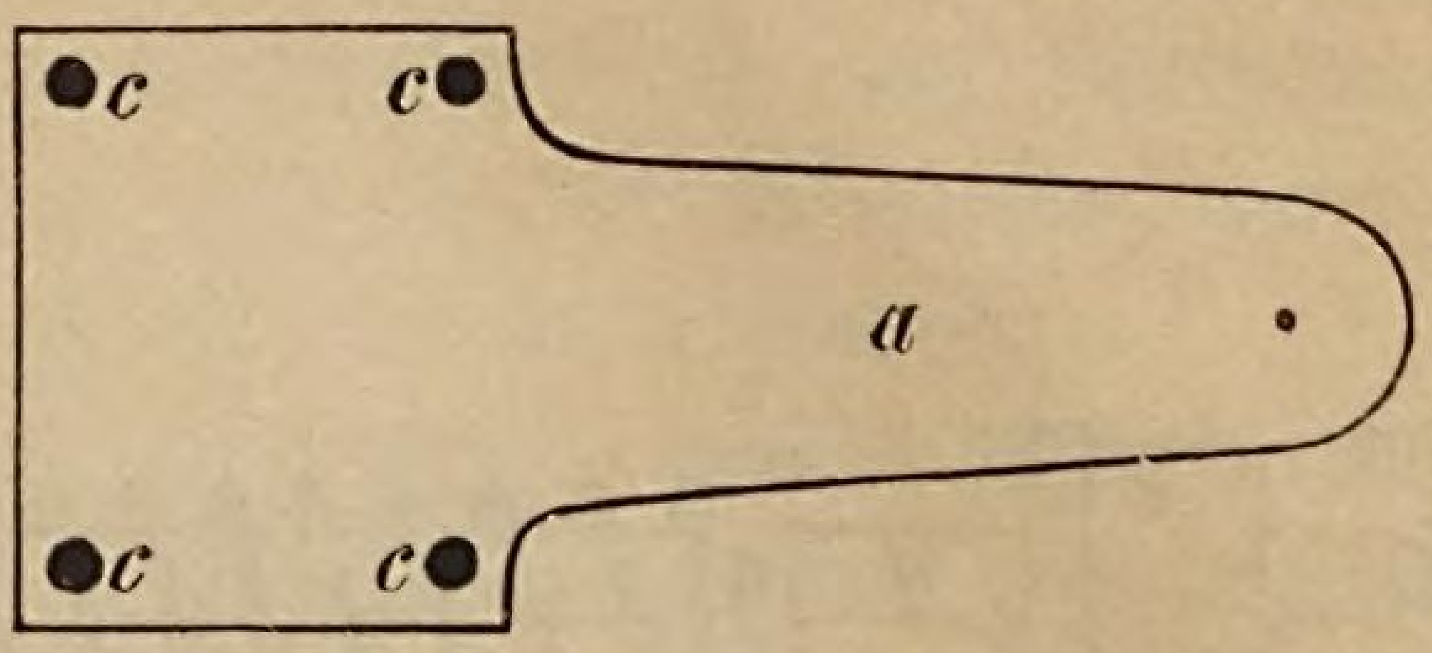


Fig. 279d.

Die Messingplatten a (Fig. 279d) sind 3 mm dick; in sie müssen die Löcher für die Ankerachse sehr sorgfältig gebohrt werden, damit der Anker von beiden Polschuhen gleich weit absteht und ihnen doch möglichst nahe rotiert, mit einem Spielraum von Papierdicke.

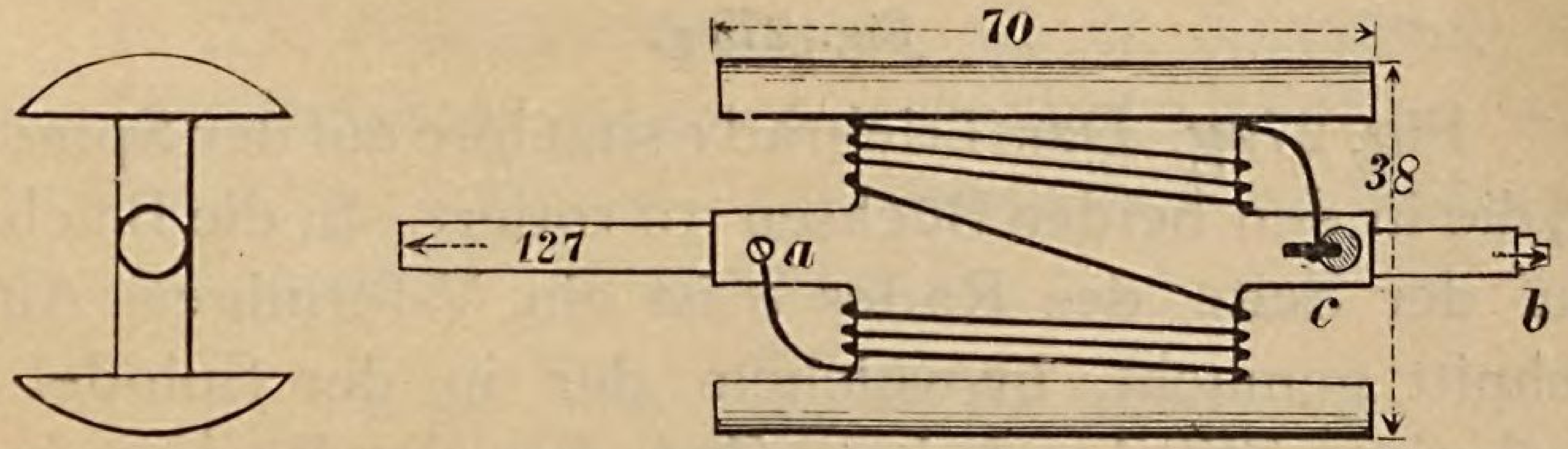


Fig. 279e.

Die Magnete sind 20 mm breit und 10 mm dick und werden möglichst stark magnetisiert.

Der Ankerdraht besitzt einen hohen Widerstand. Der Strom der Station I cirkuliert durch das Läutwerk der Station II und durch deren Induktor. Werden nun mehrere Stationen in Reihen

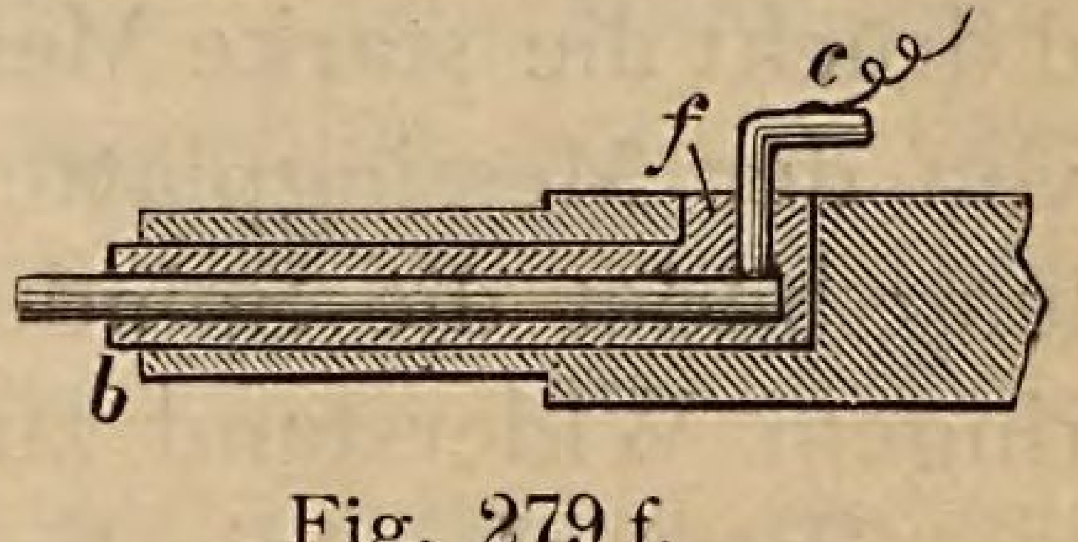


Fig. 279 f.

verbunden, so würden die Widerstände aller Stationen sehr beträchtlich; für diesen Fall muss man also für die Induktoren, so lange sie in Ruhe sind, einen Nebenschluss vorsehen.

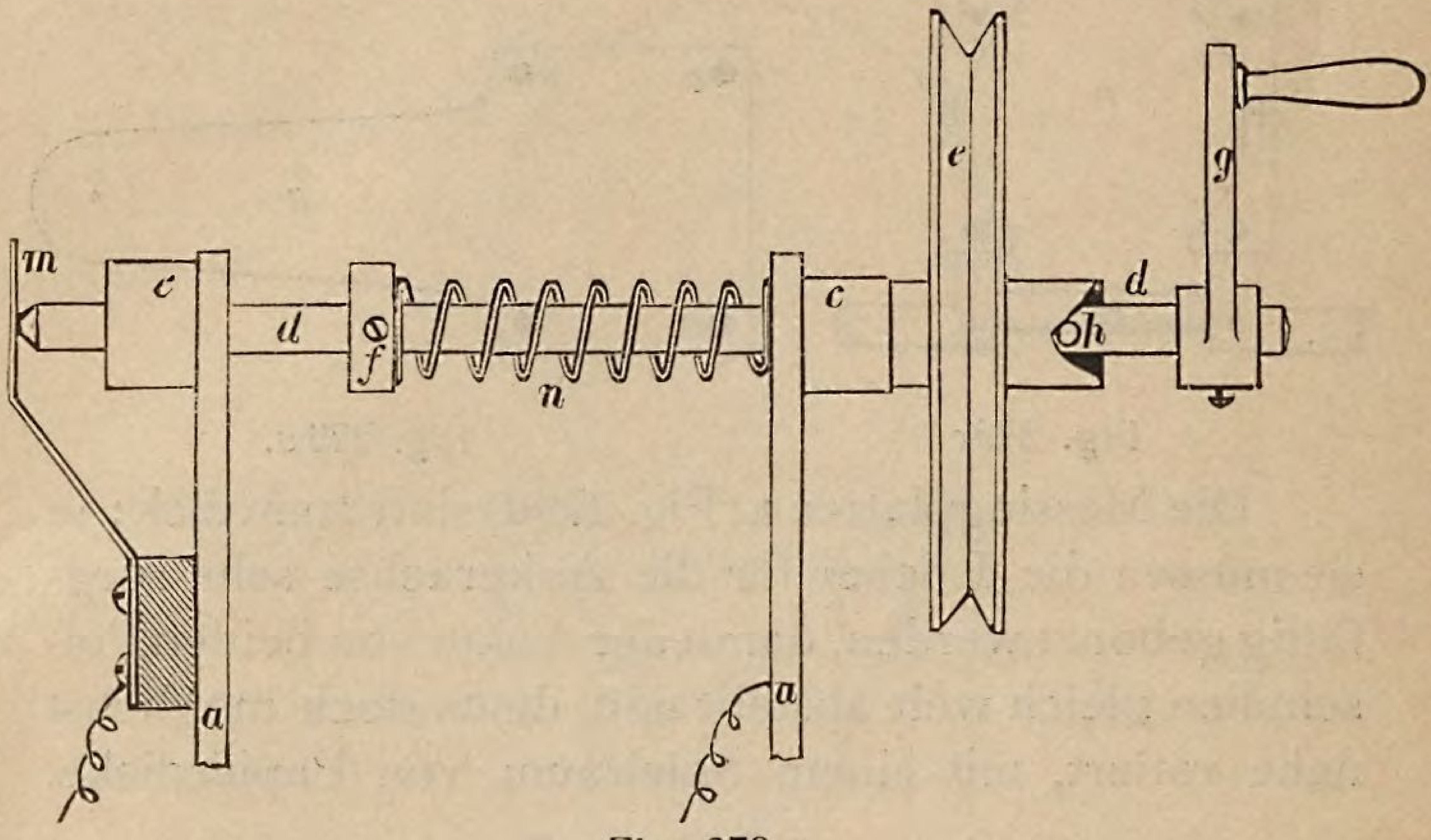


Fig. 279 g.

Fig. 279g. Das Triebrad e sitzt lose auf der Spindel d, die in den beiden Büchsen c c rotiert. In die Büchse auf der Seite des Rades e ist ein V-förmiger Ausschnitt gemacht, in welchem der in der Spindel d befestigte Stift h arbeitet. Zwischen den Büchsen c c ist auf die Spindel d der Ring f geschraubt, gegen den die Spiralfeder n derart drückt, dass bei ruhender Spindel der Stift h in dem V-förmigen Ausschnitt liegt. Gegen das andere Ende der Spindel d drückt die starke Messingfeder m, die durch Ebonit von der Messingplatte a isoliert ist. In dieser Stellung bildet die Spindel einen Nebenschluss von geringem Widerstand zu den Ankerwindungen.

Wird aber die Spindel mittels der Kurbel g an-

getrieben, so gleitet, da sich der Anker der Bewegung entgegensetzt, der Stift h am V-förmigen Ausschnitt auf und entfernt die Spindel von der Feder m; dies unterbricht den Nebenschluss und treibt den Ankerstrom in die „Linie"; sobald aber die Kurbel losgelassen ist, stellt die Spiralfeder n den Nebenschluss der Spindel d mit der Feder m wieder her, indem sie die Spindel wieder an m andrückt.

Aufgaben. 1. Eine magnetelektrische Maschine giebt bei einem äusseren Widerstand von 10 Ohm die Stromstärke 1,5 Ampère; der Ankerwiderstand beträgt 0,3 Ohm. Wie gross ist die EMK der Maschine.

$$e = i. r = 1,5. 10 = 15 \text{ Volt.}$$

E ist aber grösser als e um diejenige Spannung, welche den Strom durch den Anker treibt. Dieser Betrag ist = 1,5. 0,3 = 0,45 V; so dass

$$E = 15 + 0,45 = 15,43 \text{ V.}$$

2. Die Klemmenspannung (d. h. Spannung an den Polklemmen) e einer magnetelektrischen Maschine beträgt 8 V. und die Stromstärke i = 0,25 Amp.; wie gross ist der Widerstand?

$$r = \frac{e}{i} = \frac{8}{0,25} = 32 \text{ Ohm.}$$

Der Doppel-T-Anker mit einem Elektromagneten. Dynamomaschine.

Ersetzt man die Stahlmagneten der magnetelektrischen Maschinen durch einen Elektromagneten, dessen Polschuhe cylindrisch ausgebohrt sind, so dass sich der Doppel-T-Anker eben noch dazwischen drehen kann, sendet man ferner einen starken Batteriestrom durch die Rollen des Elektromagneten,

so wird man, wenn man den Anker mittels seiner Riemscheibe in rasche Umdrehung versetzt, noch weit kräftigere Ströme vom Anker erhalten als mit

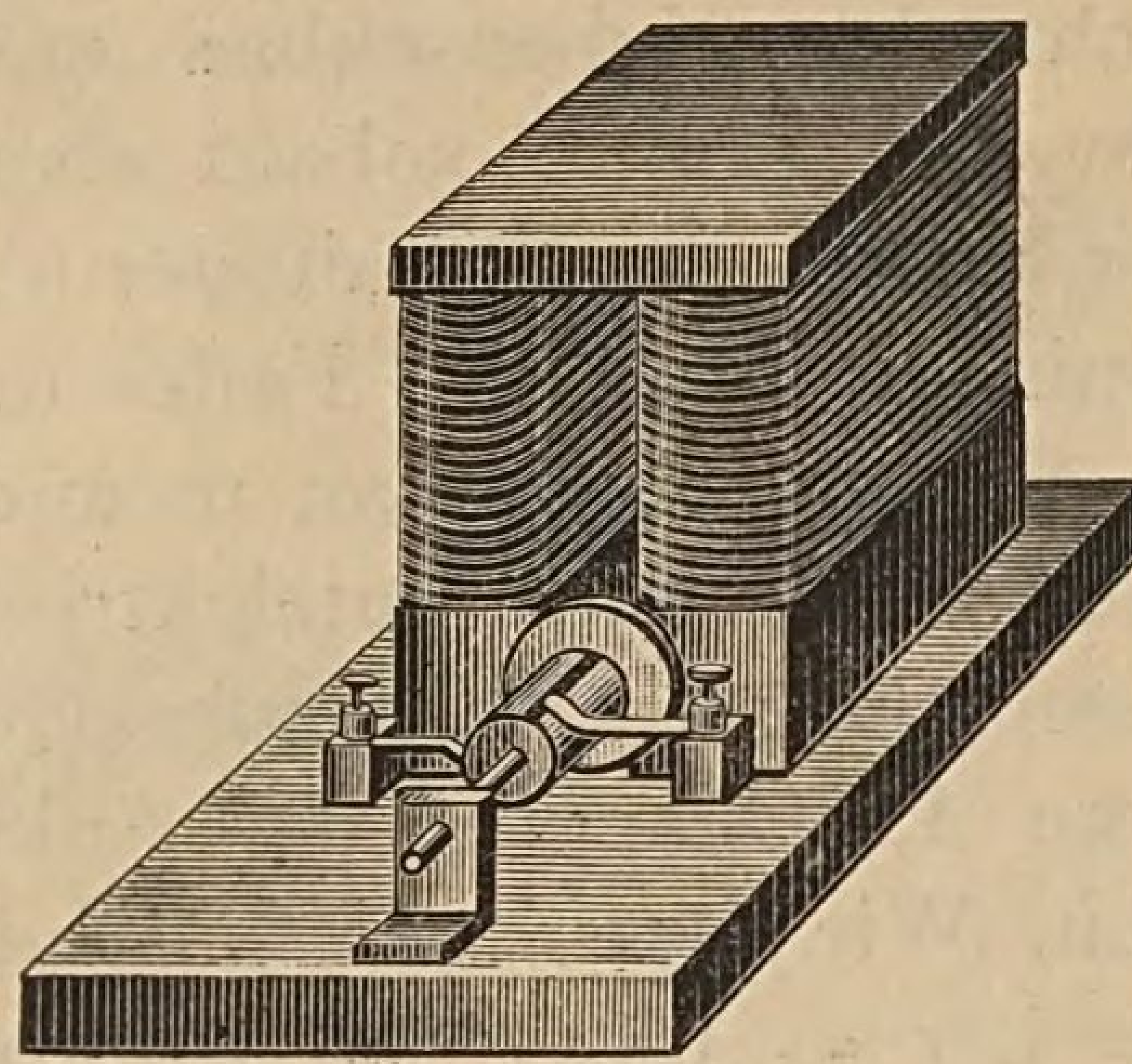


Fig. 279.

dem Stahlmagneten; die Ankerströme wachsen mit der Stärke des magnetischen Feldes; man hat aber immer noch eine magnetelektrische Maschine. (Fig. 279.)

Sie lässt sich indes in eine dynamoelektrische oder Dynamomaschine umwandeln, d. h. in eine Maschine, deren Elektromagnete durch den Strom des Ankers oder eines Teiles desselben erregt werden. Leitet man den ganzen Strom des Ankers durch die Elektromagnete und den äusseren Stromkreis, so heisst die Maschine eine Hauptschlussmaschine (Fig. 280). Dieses System ist zwar ökonomisch, aber nur in beschränktem Maasse der Anwendung fähig; besonders zur Beleuchtung mit Bogenlampen und zum Antrieb elektrischer Bahnen. Die Feldmagnete sind mit dickem Draht von etwa dem Widerstande des Ankers umwickelt. Man heisst diese Maschinen auch Serienmaschinen. — In denselben

ist die Stromstärke J in den Magneten, dem äussern Stromkreise und in beiden Ankerhälften dieselbe, also in jeder Ankerhälfte einer Zweipolmaschine $\frac{J}{2}$, da beide Hälften parallel geschaltet sind. Der Regulierungswiderstand und der Ampèremesser wurden in den äussern Stromkreis eingeschaltet.

Leitet man vom Ankerstrom einen bestimmten Teil durch die Rollen des Feldmagneten und den übrigen Teil durch den äusseren Stromkreis, so ist die Maschine eine Nebenschlussmaschine. (Fig. 281.) Der Widerstand im Feldmagnetengewinde ist in ihr so berechnet, dass nur ein ganz be-

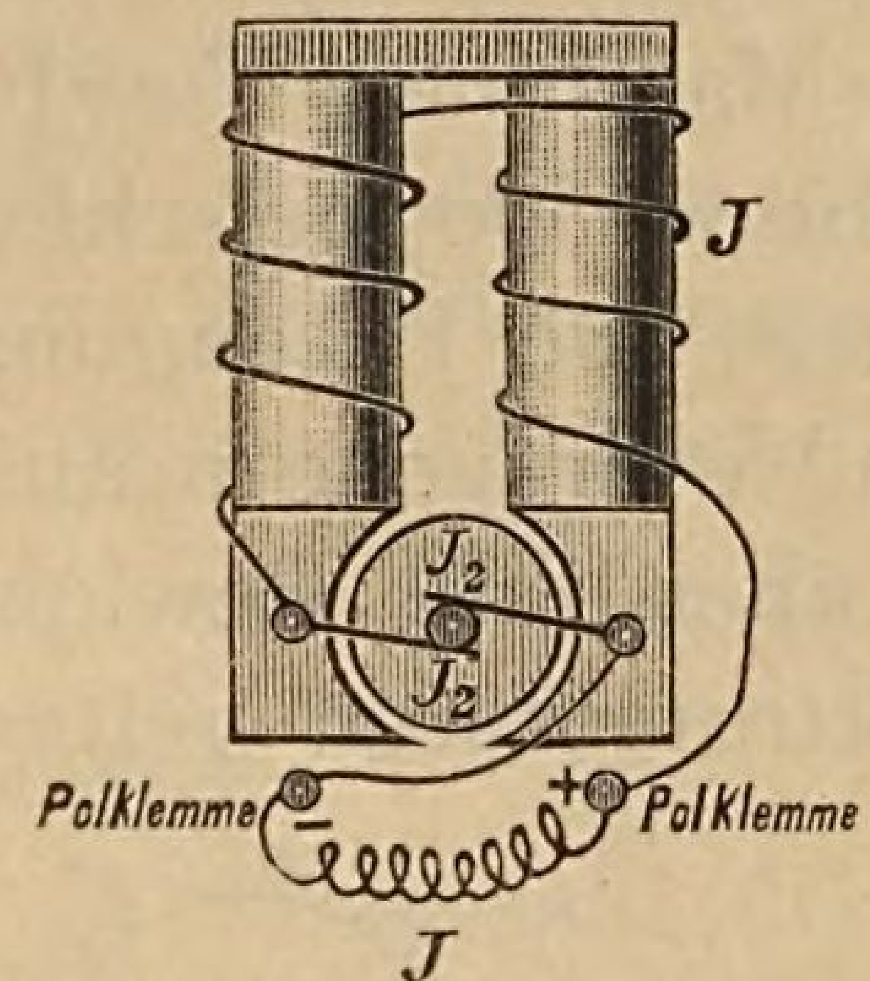


Fig. 280.
Hauptschlussmaschine.

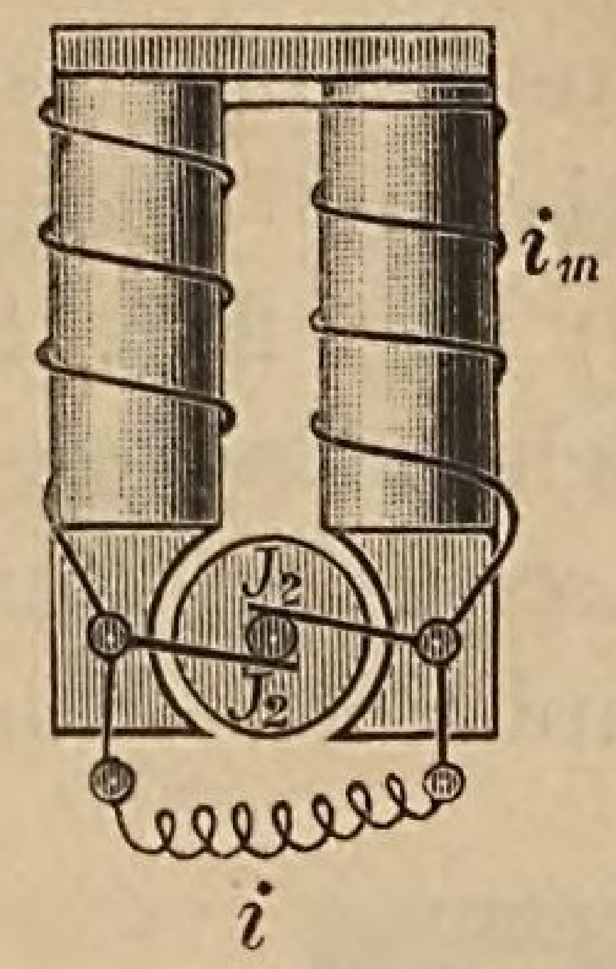


Fig. 281.
Nebenschlussmaschine.

stimmter Teil des Gesamtstroms zu ihm abgezweigt wird, ca. 5%. Diese Maschinen dienen vorzugsweise zur Beleuchtung mit Glühlampen, zur Ladung von Accumulatoren, zur Galvanoplastik und Galvanostegie, zur Telegraphie und zu medizinischen Zwecken.

Der Stromzweig durch die eine Ankerhälfte $\frac{J}{2}$

" " " " zweite " " $\frac{J}{2}$

" " " " Magnete i_m

der Stromzweig durch den äussern Kreis i

$$J = \frac{J}{2} + \frac{J}{2}; \; J = i_m + i.$$

Die Regulierung des magnetischen Feldes, insbesondere der Spannung, wird durch einen in die Magnetwindungen eingeschalteten Rheostaten besorgt.

Die Erregung des magnetischen Feldes mit doppeltem Gewinde ist eine Verbindung der beiden ersten Systeme. Das eine Gewinde des Feldmagneten hat feinen und langen Draht und steht mit den beiden Bürsten in Verbindung; das andere, darunter oder darüber liegende Gewinde besteht aus dickem und kurzem Draht und ist in den Hauptstrom eingeschaltet. Man nennt diese Maschinen Verbundmaschinen (Compound- oder Doppelschlussmaschinen) Fig. 282. Sie gestatten die Erzeugung der elektrischen Energie nach dem Verbrauche im äusseren Stromkreise zu berechnen; aber ihre Bewickelung ist kompliziert. Für die Elektromotoren gelten die-

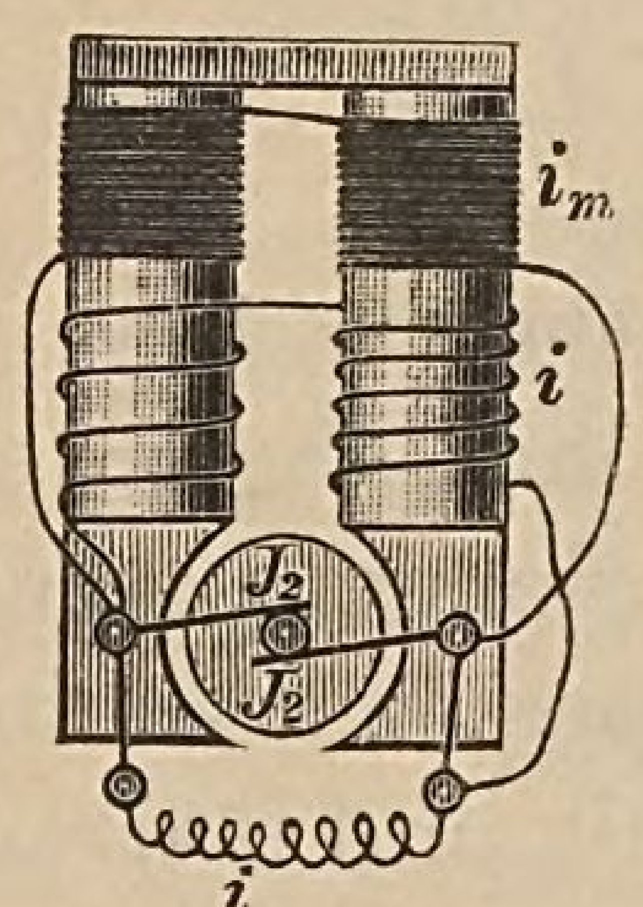


Fig. 282.
Doppelschlussmaschine.

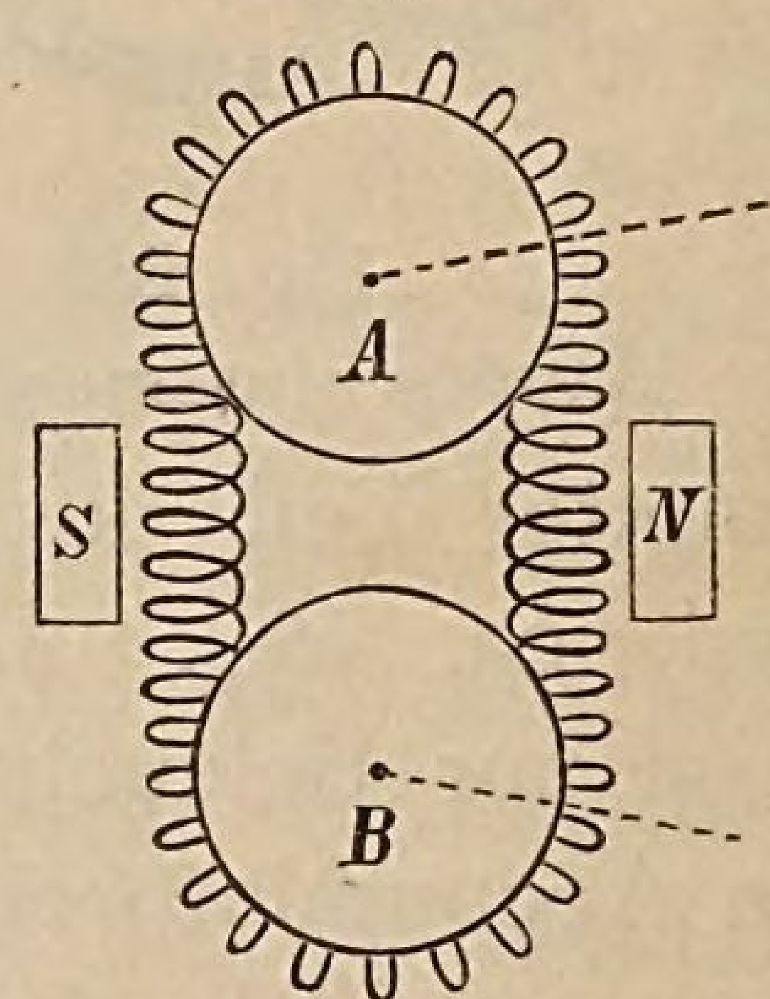


Fig. 283.

selben Regeln wie für Haupt- und Nebenschlussmaschinen; bei den dünnen Wickelungen der Magnete die für die Nebenschlussmaschine und für den

Querschnitt der dicken Wickelung die für die Hauptschlussmaschine.

Am genauesten lassen sich die Bedingungen für die Konstruktion einer Nebenschlussmaschine bestimmen, weshalb wir auch Anleitung zur Herstellung einer solchen geben.

Betriebsgrössen der Dynamomaschinen.

E = EMK, gemessen in Volt,

J = Sromstärke im Anker, gemessen in Ampère,

e = Klemmenspannung, gemessen in Volt,

i = Stromstärke im äusseren Kreise, gemessen in Ampère;

EJ = gesamte elektrische Leistung, gemessen in Volt-Ampère (Watt);

ei = elektrische Leistung, gemessen in V.-A.;

$G_e = \frac{e \cdot i}{E \cdot J}$ = elektrisches Güteverhältnis (eine Zahl),

P = Anzahl der mechanischen PS,

$G_e = \frac{EJ}{736} \cdot \frac{1}{P}$ = mechanisches Güteverhältnis.

Der Ringanker; Modell einer Dynamo- und Triebmaschine.

Der Doppel-T-Anker hat sich für magnetelektrische Maschinen mit Stahlmagneten und Dynamomodelle erhalten; für industrielle Dynamomaschinen ist er durch den Ringanker verdrängt worden, dessen Wirkungsweise sich am einfachsten aus folgendem, leicht herzustellendem Modell erkennen lässt. (Fig. 283.)

Über zwei am Rande halbkreisförmig ausgehöhlte Eisenräder A und B wird eine in sich geschlossene eiserne Drahtspirale fest übergelegt, nachdem die Räder in passender Entfernung auf einem Brette drehbar befestigt sind. Durch einen angeschrobenen Griff lässt sich ein Rad drehen. Mitten zwischen die Räder wird ein Hufeisenmagnet gestellt. Dreht man das eine Rad und verbindet die Räder leitend mit einem sehr empfindlichen Galvanometer, so lässt sich ein schwacher Strom nachweisen; verbindet man die Räder mit den Polen einer kleinen Batterie, so dreht sich die Vorrichtung. In beiden Fällen dienen die Räder als Bürsten; im ersten Fall wirkt die Vorrichtung als magnetelektrische Maschine, im zweiten als Elektromotor.

Sodann geben wir eine Beschreibung eines Modells (Fig. 284), das nicht sowohl für starke Wirkung, als vielmehr nach möglichster Übersichtlichkeit konstruiert und Stromerzeuger und Motor ist.

Zwischen den mit cylindrisch ausgehöhlten Schuhen versehenen Polen eines Elektromagneten mit flachen Schenkeln liegt ein Ring, der aus weichen Eisendrähten gewickelt, dann mit einer isolierten Umhüllung von gefirnisstem Seidenbande umwunden und zuletzt mit nicht umsponnenem Drahte derart umwickelt ist, dass die einzelnen Windungen ein wenig von einander abstehen und eine Art in sich zurücklaufender, rechtsgewundener Schraube bilden. Der Ring ist auf einen cylindrischen Holzkern (Hartgummikern) mit Stahlachse geschoben und mit Schellack aufgekittet. Die Achse trägt (rückwärts) einen

kleinen Schnurwirtel. Rechts und links schleifen an dem Anker auf der kupfernen Umwickelung kleine Kontaktfedern, die an den Polklemmen a und b befestigt sind. Die Träger dieser Klemmen sind etwas verschiebbar, so dass man den Druck der Federn gegen den Ring regulieren kann.

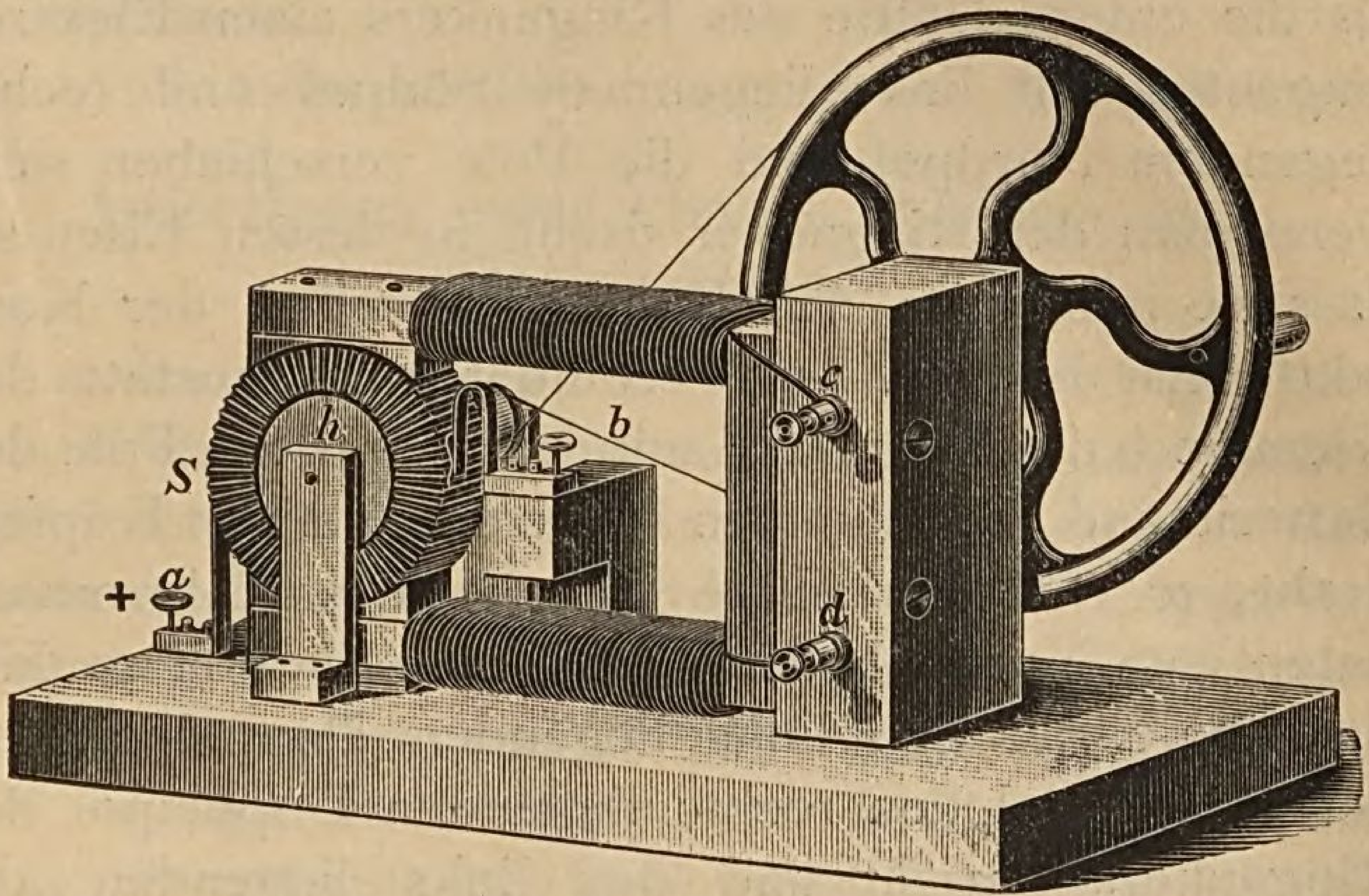


Fig. 284.

Um Strom zu erzeugen, verbindet man b mit c und a mit d, schaltet zwischen a und b ein Galvanoskop ein und treibt das Schwungrad nach rechts rasch um; der Elektromagnet liegt dann im Nebenschluss und das Galvanoskop im äusseren Stromkreis. Im Unterricht wird man hier einen Handdynamoumschalter verwenden.

Leitet man einen Strom durch die Klemmen a und b, so verzweigt sich derselbe zu gleichen Teilen in die beiden Hälften der Umwickelung des Ringankers, so dass dessen Eisenkern zu einem Doppel-Elektromagneten wird (Fig. 303 b), dessen gleich-

namige Pole zusammenliegen (horizontal in der Ebene der Achse); bei rechtsgängiger Windungsweise des Kupferdrahtes wird die Eintrittsstelle des Stromes zum Südpol S und die Austrittsstelle zum Nordpol; ist also a mit dem positiven und b mit dem negativen Pol verbunden, so bildet sowohl die obere als die untere Hälfte des Ringankers einen Elektromagneten mit links liegendem Südpol und rechts liegendem Nordpol und die Pole verschieben sich, wenn man den Ringanker dreht, in dessen Eisen so, dass sie immer an den Berührungsstellen der Kontaktfedern bleiben. — Verbindet man anstatt der Klemme b die Klemme d mit dem negativen Pole der Batterie und die Klemmen b u. c durch einen Kupferdraht, so wird der obere Schenkel des Elektromagneten zum Nordpol, der untere zum Südpol, so dass der obere Pol den links liegenden Doppelpol und der untere Pol den rechts liegenden Doppelpol des Ringankers anzieht und den links liegenden abstösst; der Ringanker gerät in dauernde, von der Vorderseite der Figur aus gesehen, rechtsläufige Drehung.

Abmessungen des Modells.

1) Holzträger, an dem der Elektromagnet befestigt ist: Höhe 100 mm, Breite 35 mm, Dicke 30 mm.

2) Schwungrad, an den Träger des Elektromagneten angeschraubt, 150 mm Durchmesser.

3) Wirtel oder Schnurscheibe auf der Achse des Ankers: 30 mm Durchmesser.

4) Elektromagnet: Schenkellänge 140 mm, davon die Polschuhe 37 mm, Breite 30 mm, Dicke 11 mm. Entfernung der Schenkel 90 mm (vom obersten

zum untersten Rand), Draht 1,5 mm dick in 4 Lagen. Joch 11 mm dick.

5) Ring: Gesamtdurchmesser 62 mm, Durchmesser des Holzkerns 42 mm, Breite des Eisenkerns 33 mm, Kupferdraht 1 mm dick. Stahlachse 9 mm Durchmesser, Träger des Ringes und der Achse 85 mm hoch.

6) Grundbrett: 220 mm lang und 130 mm breit.

Anfertigung einer kleinen Dynamo- und Triebmaschine.

a. Konstruktion des Ringes. (Fig. 285.) Man dreht auf einer Eisenachse einen Holzcylinder von 7 cm Durchmesser und 5 cm Breite; in den Holzmantel schneidet man in gleichen Abständen 6 Kerben, an beide Stirnseiten schraubt man kreisförmige Brettchen von 10 cm Durchmesser, man erhält so eine Rinne von 5 cm Breite und 1,5 cm Tiefe; hierauf sägt man in die Seitenbrettchen Schlitze so, dass diese die Kerben treffen.

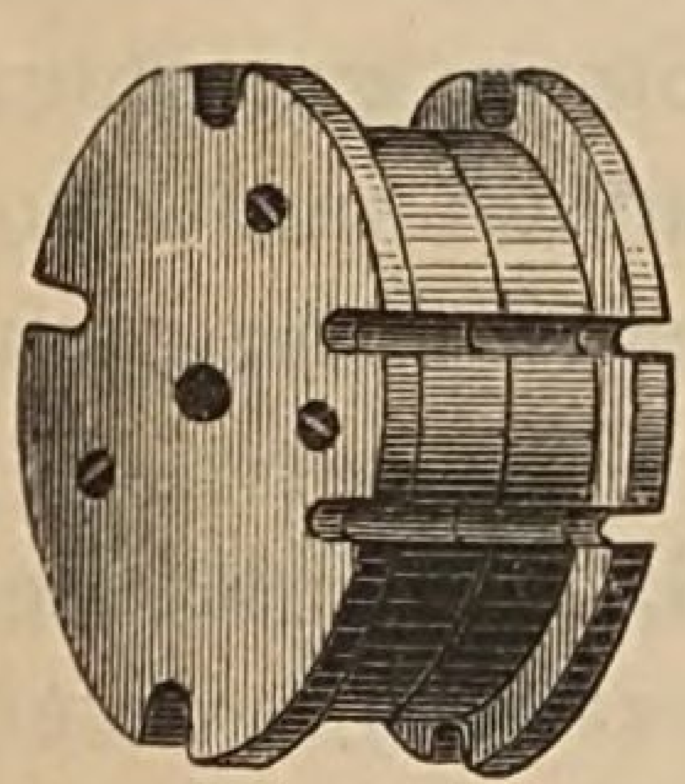


Fig. 285.

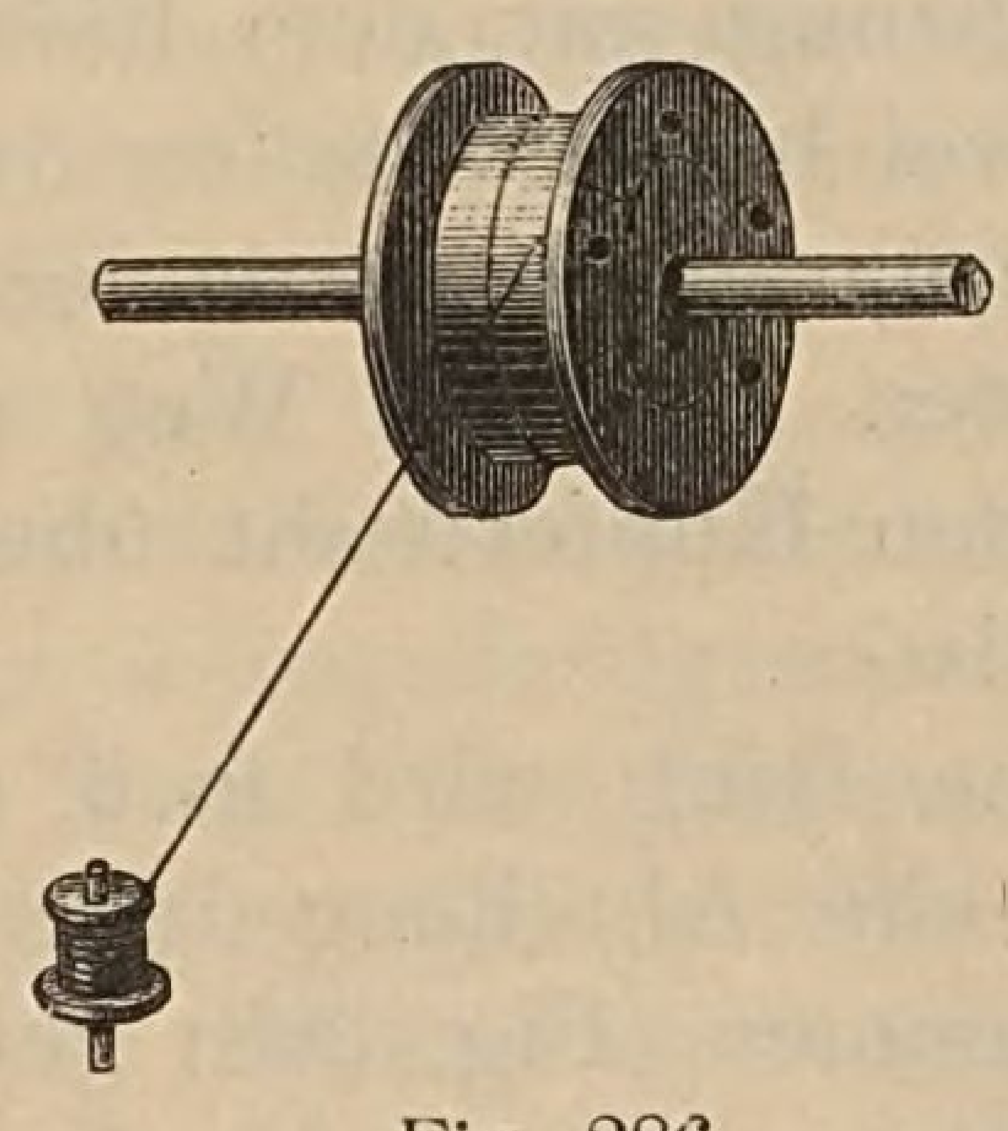


Fig. 286.

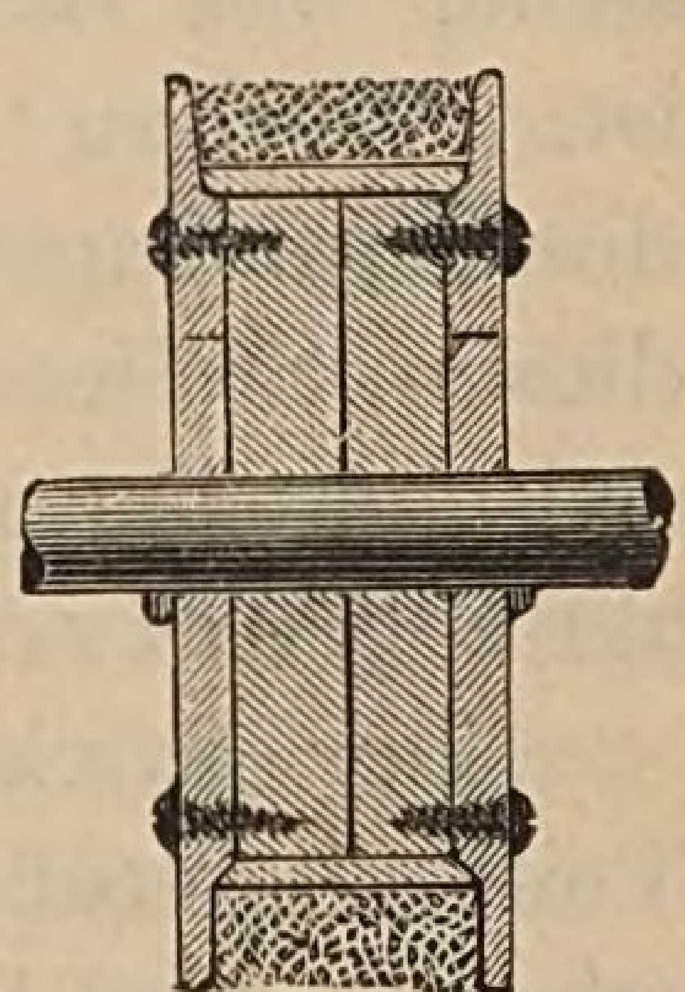


Fig. 287.

(Fig. 286 u. 287.) In die ringförmige Rinne wird sehr gleichmässig ein weicher, lackierter (man lässt

ihn in einem schmalen Trog unter einer Welle durch flüssigen Asphalt oder Schellack in 2 bis 3 m Entfernung durchlaufen) Eisendraht von 1 mm Durchmesser in 8 bis 10 Lagen gewunden. Nach dem Bewickeln wird der Eisenring durch die Kerben und Schlitze hindurch mit Draht umwunden und zusammengehalten. Nun entfernt man die Seitenscheiben und streift den Ring vom Holzcylinder. Damit dieses Abstreifen leichter geht, wird man, insbesondere wenn der Eisenring noch breiter werden soll als angegeben, den Holzcylinder aus zwei Teilen zusammenschrauben und diese Hälften gegen die Mitte, die Berührungsfläche etwas konisch drehen, d. h. ihnen einen etwas geringeren Durchmesser geben.

Der Eisenring wird nun mit dünnem Seidenband umwickelt, die Querdrähte, die ja nur das Aufspringen des Ringes verhindern sollen, nach und nach abgenommen, das Band mit Schellacklösung vollständig getränkt, damit der aufzuwickelnde Kupferdraht sicher vor Berührung mit dem Eisenring geschützt ist. Würden zwei blanke Stellen des Kupferdrahts den Eisenring berühren, so würde der Strom zwischen diesen Stellen den kürzeren Weg suchen und den zwischen liegenden Kupferdraht überspringen; man hätte Kurzschluss.

Der trockene Ring wird in 6, (12, 18) gleiche Teile eingeteilt, eine Abteilung davon zwischen zwei schmale Holzklemmen (Fig. 288) gefasst, mit übersponnenem Draht von 0,8 mm blankem Durchmesser in straffen, glatt an einander liegenden, den Zwischenraum vollkommen ausfüllenden Spiralen umwunden,

dann eine Verschlingung von etwa 6 cm Länge gemacht (Fig. 289) und die nächste Abteilung ebenso sorgfältig ausgeführt. Insbesondere hat man die Windungen auf der Innenseite des Ringes zusammenzurücken. Das Wickeln ist eine recht mühsame Arbeit, wird aber erleichtert, wenn man die Länge des Drahtes für eine Abteilung abwägt und zur Sicherheit noch ein Stück zugiebt; man hat dann eine bedeutend kleinere Drahtmasse durch den Ring hin-

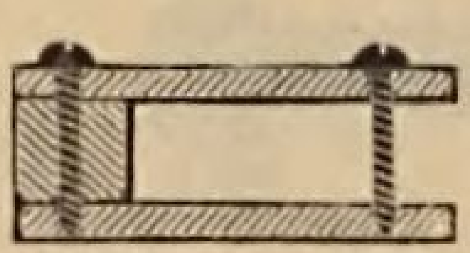


Fig. 288.

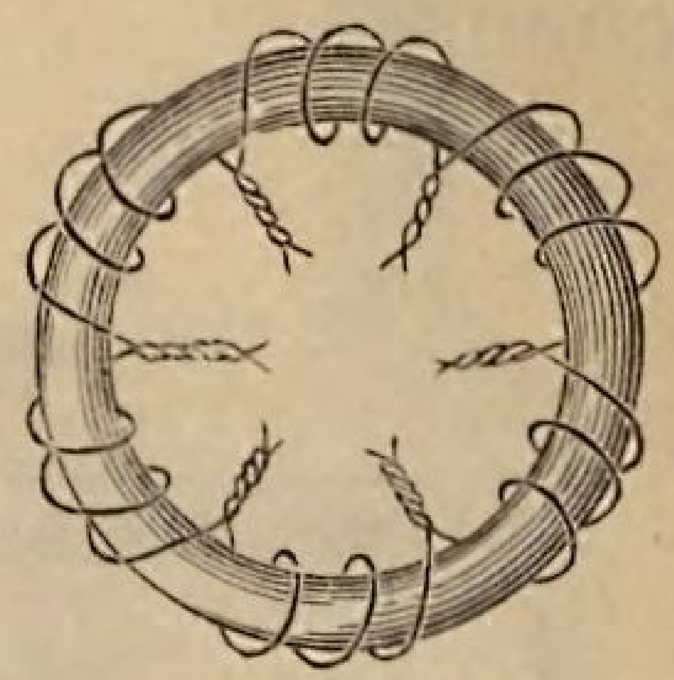


Fig. 289.

durchzuschieben. Indessen erwerben zwei Personen, von denen die eine den Draht beständig durch den Ring schiebt und die andere die Windungen ordnet, in kurzer Zeit einige Übung. Um eine grössere Spannung oder Voltzahl zu erzielen, giebt man jeder Spule 2 Lagen; man darf aber bis 4 Lagen gehen. — Die Enden der gewickelten Spiralen liegen alle auf der gleichen Seite des Ringes, wie ja auch alle 6 Abteilungen nach derselben Richtung gewunden werden müssen. Der so angefertigte und lackierte Ring kommt auf eine Stahl- oder Eisenachse von 10 mm Durchmesser, über welcher ein Holzcylinder abgedreht ist. Dieser Holzcylinder (Fig. 290) besteht aus trockenem gefirnisstem oder in Öl oder Paraffin gekochtem Buchen- oder Apfelbaumholz; der eine Teil wird so abgedreht, dass der Eisenring auf ihn

geschoben und mit dicker Schellacklösung gekittet oder durch eine Gegenplatte unter Zwischenschaltung von Tuchlappen gegen den Vorsprung gepresst werden kann. Der andere, dünnere Teil erhält 3 cm Durchmesser und 4,5 cm Länge; auf ihn werden 6, nach dem Mantel gebogene Messingbleche von 4 bis 5 cm Länge und 15 mm Breite mit kleinen Holzschrauben so befestigt, dass sie 1 mm von einander abstehen und die Holzschrauben die Achse nicht erreichen.

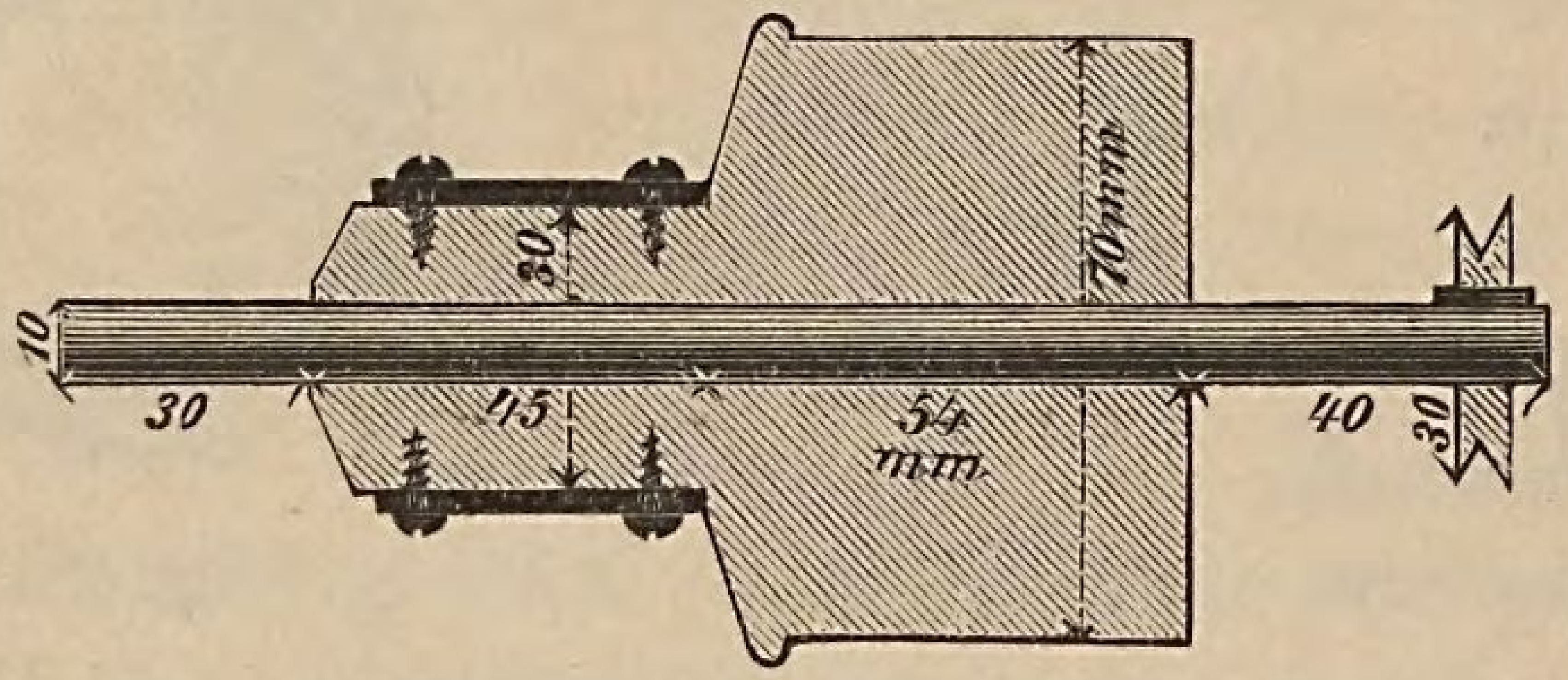


Fig. 290.

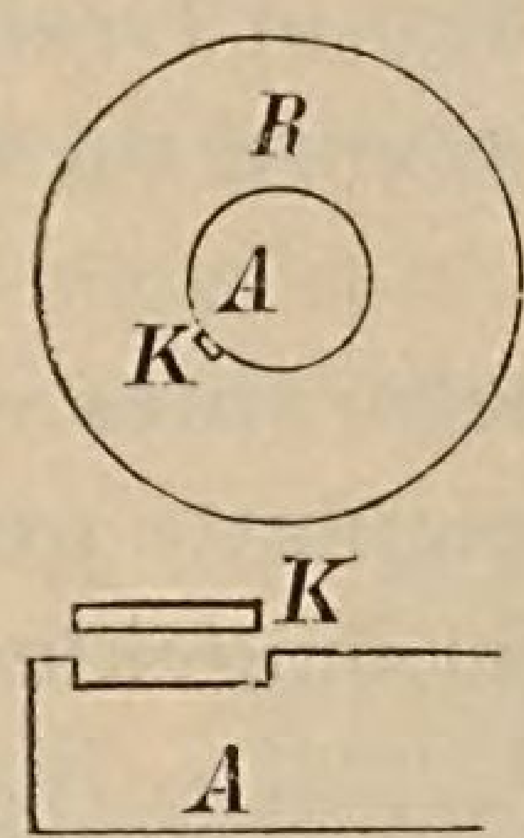
Um einige Lüftung für den Ring zu erhalten, sägt man vom Holzkörper an drei, um 120° von einander entfernten Stellen der Länge nach Stücke aus, so dass eine Art Dreistahl entsteht.

Der fertige Anker muss auf zwei Messerschneiden ausbalanciert werden; auch soll er vollkommen rund laufen.

Die gegen den Ring hin eingetriebenen Holzschrauben dienen zugleich dazu, die Kupferdrähte des Ringes mit den Messingblechen (Lamellen, Segmenten) zu verbinden. Diese Verbindung geschieht so: das blanke Ende der einen Abteilung ist mit dem Anfang der nächsten Abteilung umzwirnt, das umzwirnte Ende wird unter den Schraubenkopf

um die Schraube herum gelegt und dann die Schraube gut angezogen.

Fig. 291. Das eiserne Schnurrädchen (die Riemenscheibe) erhält einen Durchmesser von 3 bis 4 cm und wird mit einem Keil auf die Achse befestigt.



A Achse;

K Keil;

R Riemenscheibe.

Fig. 291.

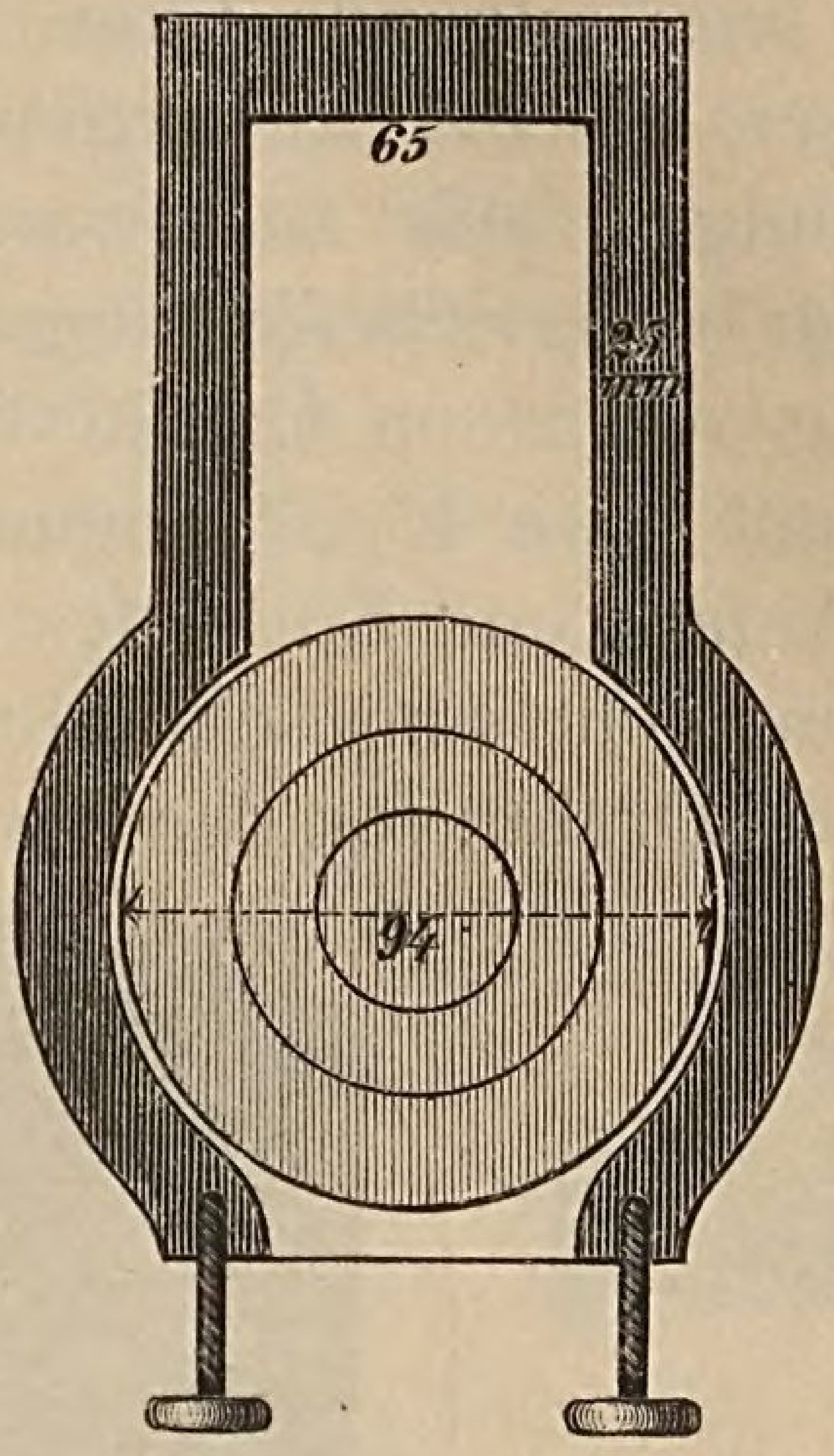


Fig. 292.

b. Konstruktion des Elektromagneten. (Fig. 292.) Die Magnete für grössere Maschinen werden in der Regel gegossen, für Maschinen mit Handbetrieb aber aus Schmiedeeisen hergestellt. Die Polschuhe müssen sich so nahe als möglich am Anker befinden, ihn aber keineswegs berühren. Dem Schmied übergiebt man den Anker nicht, sondern einen Holzring von genau gleichem Durchmesser. Das Eisen wird etwa 2,5 cm dick und 5 cm breit gewählt. Die Kerne sind 14 cm lang und 6 cm von einander entfernt. Die Kanten der Kerne werden

abgerundet und die Kerne mit Papier umleimt. Auf jeden kommen 12 bis 16 Lagen Kupferdraht, der blank einen Durchmesser von 1 mm hat, mit paraffinierter Baumwolle umsponnen ist und mit dieser Hülle einen Durchmesser von 1,5 mm hat. Jede folgende Lage erhält einige Windungen weniger, als die vorhergehende. Rechnet man 706 Windungen, jede zu etwa 23 cm Länge, so braucht man für beide Schenkel ungefähr 420 m Draht; kostet das kg von 90 m Länge 3 ℳ, so wird diese Wickelung auf etwa 15 ℳ kommen.

Anfang und Ende des Magnetdrahtes werden zu der am Joche angeschraubten Holzplatte geführt, wo auch die Drähte von den Bürsten her eingeklemmt sind.

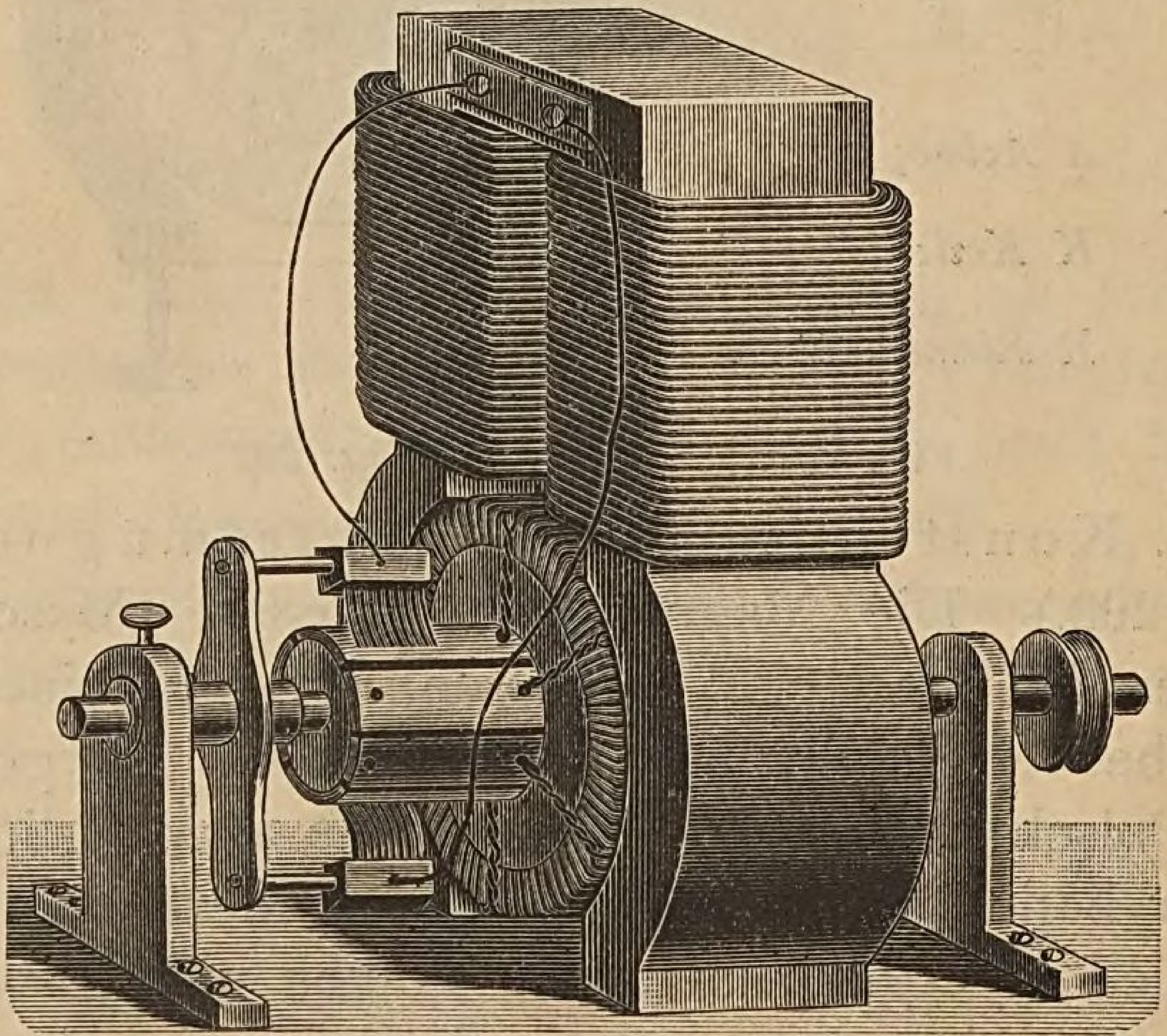


Fig. 293.

c. Die Lager. Die Lagerböcke kann man aus Zink giessen, aber auch aus Holz anfertigen. Die Höhe vom Grundbrett bis zur Achsenbohrung muss

so bemessen werden, dass der Anker ohne Reibung zwischen den Polschuhen drehen kann, wozu diese mit Messingblechen unterlegt werden. Die eine Bohrung des Lagerbockes beträgt 10 mm, dem Achsendurchmesser entsprechend; die andere Bohrung wird weiter, denn die Achse läuft in einem dickwandigen Messingrohr und dieses muss in die Bohrung passen. Dieses Messingrohrstück wird im Lagerbock durch eine Schraube festgehalten. (Fig. 293 und 294.) Auf das dem Ring zugewendete Stück dieser Messinghülse setzt man den Bürstenhalter.

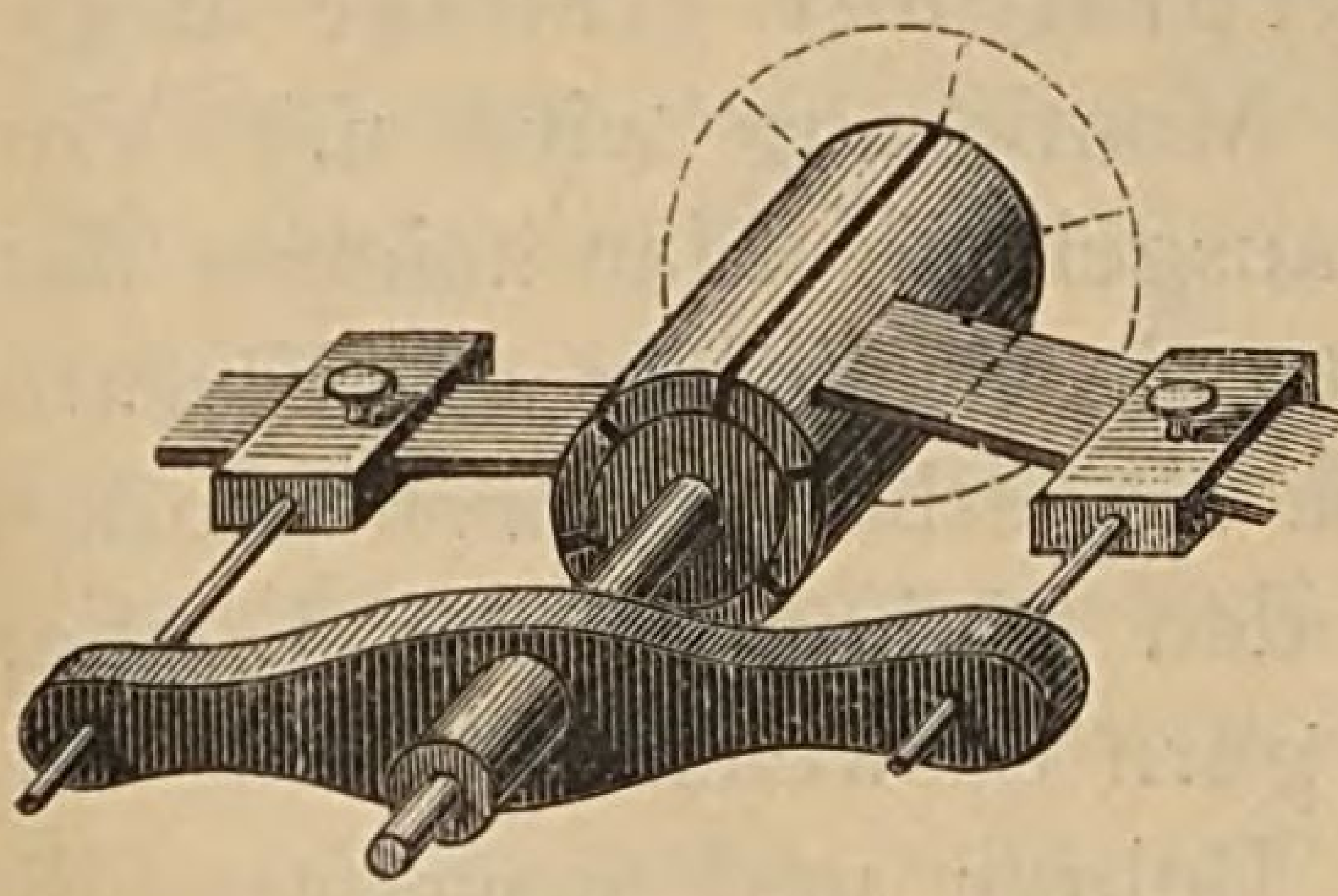


Fig. 294.

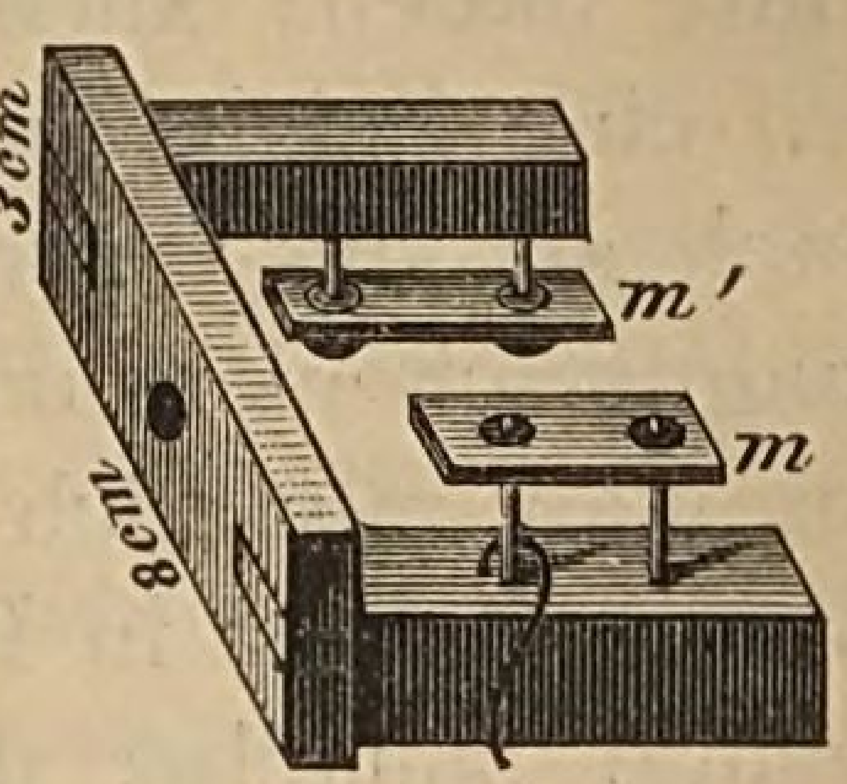


Fig. 295.

d. Der Bürstenhalter (Fig. 294 und 295.) ist eine Metall- oder Holzleiste von 8 cm Länge, 3 cm Breite und 1 cm Dicke. Besteht er aus Metall, so wird er am besten mit dem Messingrohr verlötet.

Ist er von Holz, so leimt man in Ausschnitte desselben rechtwinklig Bolzen und versieht diese mittels Holzschrauben mit den Messingblechen m und m'. Zwischen diese Bolzen uud Messingbleche klemmt man die Bürsten und die Drähte zum äussern Stromkreis.

Die Bürsten sind entweder Drahtbündel aus hartem Messingdraht, die an einem Ende zusammen-

gelötet sind (man klemmt sie zu diesem Zweck in einen passend geformten eisernen Rahmen), oder federnde, 2 cm breite, auf einander gelegte Kupferstreifen. Drahtbürsten legen sich besser an die Lamellen des Stromsammlers an als Streifen. Der Stromsammler ist mit Glas- oder Schmirgelpapier stets rein zu halten; ist er unrein, so häufen sich die Funken wegen Nichtleitbarkeit des Oxyds, die Lamellen werden verbrannt, der Strom geschwächt.

e. Montierung. Man wird für die einzelnen Teile der Maschine schon vor der Anfertigung Zeichnungen in natürlicher Grösse ausgeführt haben; auch der Montierung wird mit Vorteil eine Zeichnung vorausgehen. Man zeichne darnach auf das Grundbrett die Stelle für die Elektromagnetschenkel und die Lagerböcke; insbesondere sei man pünktlich mit den Einbohren der Löcher, da die Bohrer in Holz gern ausweichen: man verwende zunächst dünne Bohrer und erweitere die Löcher entweder mit grösseren Bohrern oder mit Reibahlen, unter Umständen mit grob gehauenen Rundfeilen.

Schraube den Elektromagneten auf das schwere, mindestens 20 cm lange und 18 cm breite Grundbrett, bringe den Anker zwischen die Polschuhe, schiebe die Böcke über die Achse und reguliere ihre Stellung, bevor man sie festschraubt

Stellung der Bürsten. Die Bürsten müssen ungefähr auf der neutralen Linie stehen; die genaue Einstellung derselben findet man, indem man den Bürstenhalter während des Laufes der Maschine so lange verstellt, bis die Funken zwischen dem Strom-

abgeber und den Bürsten möglichst gering werden. — Bei schlechter Ausführung erhält man nach dem ersten Zusammensetzen der Maschine manchmal gar keinen Funken und gar keinen Strom. — Die Bürsten sollen nur leicht aufliegen; hart anliegende erhitzen sich und vermehren die Funkenbildung.

f. Erregung des Feldmagneten. Zeigt der Elektromagnet nicht schon infolge des auf sein Eisen einwirkenden Erdmagnetismus eine, wenn auch geringe Menge Magnetismus, so lässt man durch seine Spulen einige Augenblicke den Strom einiger Elemente gehen; seine Kerne behalten dann dauernd Magnetismus zurück. (VIII. Regeln.) Ist der linke Schenkel ein Südpol und der rechte ein Nordpol geworden, so bleiben diese Pole erhalten, wenn man die beiden Spulenenden zu der am Joche angeschraubten Holzplatte führt, deren Polklemmen durch Drähte mit der nächstliegenden Bürste verbindet und den Anker nach links, der Richtung des Uhrzeigers entgegen, dreht. Um einen äusseren Stromkreis zu erhalten, schraubt man an jeden Bürstenträger einen starken Kupferdraht; die Maschine ist eine Nebenschlussmaschine.

g. Umdrehungszahl des Ankers. Die Stromspannung einer Dynamomaschine wächst mit der Geschwindigkeit, mit der sich der Anker durch das Kraftlinienfeld des Elektromagneten bewegt, er muss sich hier in der Minute 2000 bis 2400 mal um seine Achse drehen; um ihm eine solche Geschwindigkeit zu erteilen, ist, wenn man eine Übersetzung nicht anbringen will, ein ziemlich grosses Rad mit Schnurlauf erforderlich. Hat dieses 60 cm Durchmesser

und wird es in der Sekunde 2 mal umgedreht, so dreht sich der Anker (mit Riemenscheibe von 3 cm Durchmesser) in dieser Zeit 2 · 20 und in der Minute 2 · 20 · 60 = 2400 mal um. Je nach der Grösse des Ankers wird seine Umdrehungsgeschwindigkeit bis auf 300 Touren in der Minute herabgemindert.

Wer die nötige Geduld besitzt, kann, wie wir dies auch bei der Wickelung des Induktionsapparates angegeben, die Magnetschenkel mit blankem Draht bewickeln, wofern er nur durch mitaufgewundene Schnüre und zwischengelegtes und gefirnisstes oder paraffiniertes Papier für genügende Isolierung Sorge trägt. Was an Zeit verloren geht, wird an Ausgaben gewonnen.

h. Leistungen der Maschine. Durchmesser des Ankers 10 cm, Umfang 10 · 3,14 = 31,4 cm; Ankerdraht blank 0,8 mm und mit Hülle 1,3 mm; demnach können auf den Umfang des Ankers 314 : 1,3 = 240 Drähte nebeneinander gelegt werden. Der Anker ist der Achse nach 5 cm lang, folglich haben diese 240 Drähte auf dem Umfang eine Länge von 5 · 240 = 1200 cm = 12 m. Bei kleineren Maschinen kann man auf 1 m wirksame Länge des Ankerdrahtes 1 Volt Spannung annehmen, also sollte die Maschine mit einer Lage 12 Volt Spannung erzeugen. 1 mm^2 Ankerdraht wird gewöhnlich beansprucht mit 4 Ampère; 0,8 mm Durchmesser entsprechen 0,5 mm^2 Querschnitt; die Maschine wird also etwa 2 Ampère liefern; im ganzen demnach 12 · 2 = 24 VA; diese Leistung entspricht einer 8kerzigen Glühlampe. Mit 2 Lagen wird man nahezu eine 16kerzige Glühlampe von 55 VA speisen können.

Mit dickerem Draht erreicht man eine geringere Spannung, aber grössere Stromstärke.

Maassangaben über eine zweipolige Dynamomaschine für galvanoplastische Zwecke von 5 Volt und 25 Ampère.

1) Antriebskraft. 736 V.-A. erfordern 1 Pferdestärke (PS), der Verluste wegen durch Reibung und Erwärmung rechnet man aber auf 1 PS nur 650 V.-A; somit muss die Maschine $\frac{736 \cdot 5 \cdot 25}{650}$ = ca. 148 V.-A. erzeugen und diese erfordern $\frac{1}{4}$ PS, wenn die Antriebsmaschine 80 % Nutzeffekt hat: $\frac{148 \cdot 100}{650 \cdot 80} = \frac{1}{4}$.

2) Der Anker. Der Ring besteht aus Blechscheiben 1 mm dick, er ist mit 18 Spulen umwickelt.

Äusserer Halbmesser	70 mm
innerer „	38 „
Länge	80 „
Länge einer Windung	220 „
„ „ Spule 7 · 220 =	1540 „

Gesamtdrahtlänge 18 · 1540 mm = ca. 28 m.

Durchmesser des Drahtes blank	1,8 mm
„ „ „ umsponnen	3,0 „
Gewicht des Ankerdrahtes	0,6 kg
Widerstand des „ gestreckt	0,236 Ohm

an den Bürsten $\frac{0,236}{4}$ = 0,059 Ohm.

3) Der Feldmagnet.

Querschnitt des Eisenkernes	100 · 98 mm
Länge „ „	65 „

Stärke des Joches 60 „
„ „ Drahtes blank 2,9 „
„ „ „ umsponnen . . . 3,8 „
Gesamtlänge des Drahtes 350 m
Windungen nebeneinander 25 m
Gewicht des Drahtes beider Spulen . 20,6 kg
Widerstand „ „ . 0,87 Ohm.

Tourenzahl 2000 in der Minute.

Welle 15 mm dick und zwischen den Lagern 178 mm lang; Riemenscheibe 43 mm breit mit 65 mm Durchmesser.

Widerstand des Ankers. Der Anker besteht aus zwei parallel geschalteten gleichen Drahthälften von gleichem Widerstand. Widerstand des ganzen Ankers $R_a = \frac{R}{2}$, wenn R den Widerstand jeder Hälfte bezeichnet. Die Drahtlänge einer Hälfte ist aber $\frac{L}{2}$, folglich $R = \frac{\varrho \cdot L}{2s}$, worin s = Querschnitt in mm^2 und L = Länge in m; folglich $R_a = \frac{\varrho \cdot L}{4s}$; $\varrho = 0,02$ bis 0,185 (S. Spec. Widerstand).

Näheres in des Verfassers Berechnungen. Faber, Magdeburg 1893.

Maassangaben über eine Zweipolmaschine
nach H. Kratzert. (Fig. 295 a.)

Leistung: Ampère 35; Volt 110; Watt = $35 \cdot 110 = 3850 = 3,85$ Kilowatt.

Umdrehungen in der Minute: 900.

Anker; D = äusserer Durchmesser
des Eisens 26 cm;
D_1 = innerer Durchmesser des Eisens . . 13 „

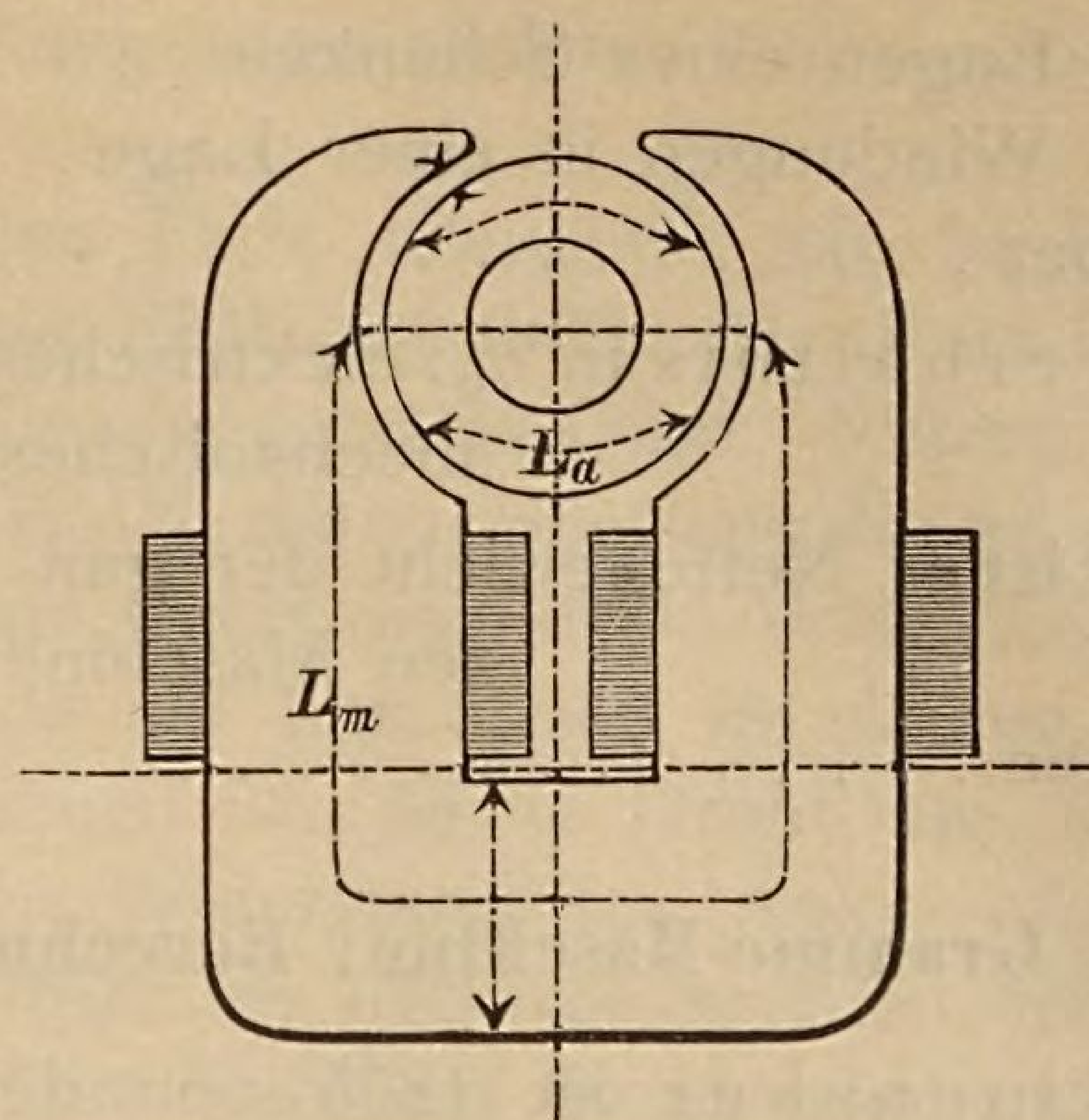


Fig. 295a.

Länge des Ankereisens , ...	17 cm
L_a Weglänge der Kraftlinien	30,6 „
Drahtstärke	0,25 „
Gesamtwiderstand in Ohm kalt	0,38 „
Gesamtdrahtgewicht blank	13,5 kg
Anzahl der Lagen	2
Anzahl der Abteilungen	44
Anzahl der Windungen in jeder Abteilung	3
Anzahl der Drähte am Umfang	528

Glatte Trommel.

Magnete: Durchmesser der Bohrung	28,1 cm;
Querschnitt .	227 cm^2;
Abstand zwischen den Schenkeln	10,8 cm;
Wickelungshöhe	20 „
L_m Weglänge der Kraftlinien	111,8 „
Magnetampère (Nebenschluss)	3;
Drahtstärke	0,14 „
Gesamtwiderstand in Ohm	35;
Drahtgewicht eines Schenkels	17 kg

Anzahl der Lagen eines Schenkels 16;
Anzahl der Windungen in einer Lage . . 116;
Magnetkörper 220 kg.

Güteverhältnis in %: elektrisches 76;
mechanisches 71.

Gewichte: Nettogewicht der ganzen Maschine 350 kg;
Gesamtkupfer 47 „

Eine Gramme-Maschine; Berechnung.

Der Ringanker ist 1865 von dem Italiener Pacinotti und zum zweitenmal 1871 von dem Belgier Gramme in Paris und von diesem dazu noch der mehrteilige Stromsammler samt Bürsten erfunden und auf wirksame Maschinen angewendet worden; darum heissen die nach seinem System ausgeführten Dynamomaschinen auch Gramme-Maschinen. Fig. 296a.

a. Ankerdrahtberechnung. Man wolle eine Maschine anfertigen, die fünf Glühlampen von 50 Volt und 1 Ampère oder von je 15 Kerzen speisen könne. Nach Ohm's Gesetz sind 50 V • 1 Amp. = 50 Ohm Widerstand; dazu soll noch der Widerstand im Leitungsdraht mit 1 Ohm kommen. Der grösste Widerstand wird vorhanden sein, wenn wir nur eine Lampe zu unterhalten haben, alsdann beträgt der Widerstand 50 Ohm für diese Lampe und 1 Ohm für die Leitung; also zusammen 51 Ohm.

Schaltet man dagegen die Lampen nebeneinander, so verteilt sich der Widerstand auf fünf Lampen und beträgt somit 10 Ohm; wozu noch 1 Ohm

für die Leitungen zu rechnen sind, also zusammen 11 Ohm.

Im ersten Falle brauchen wir 51 Ohm und 1 Ampère; die EMK ist daher 51 · 1 = 51 Volt; im zweiten Falle dagegen 11 Ohm · 5 Amp. = 55 Volt. Die höchste EMK, die zur Speisung der 5 Lampen nötig ist, übersteigt somit niemals 55 Volt. Diese 55 Volt verlangen, da auf 1 m Draht im Anker ungefähr 1 Volt zu rechnen ist, 55 m Draht auf dem Anker; um aber den Widerstand im Anker und den Erzeugungsverlust im Elektromagneten auszugleichen, wird man diese Zahl auf 60 m erhöhen.

Für einen Strom von 5 Ampère genügt ein Draht von 0,95 mm^2 Querschnitt oder 1,1 mm Durchmesser. Da aber auf eine Stromabgeber-Lamelle für kleinere Maschinen 2 bis 3 Volt gerechnet werden, giebt man dem Ring 24 Abteilungen oder Spulen und dem Stromabgeber 24 Segmente (Stäbe, Lamellen) oder 12 zwischen den Bürsten.

b. Ankerkern. Hat man diesen Draht auf den Eisenring in zwei Lagen gewickelt, so wird derselbe mit einem Durchmesser von 13 cm und

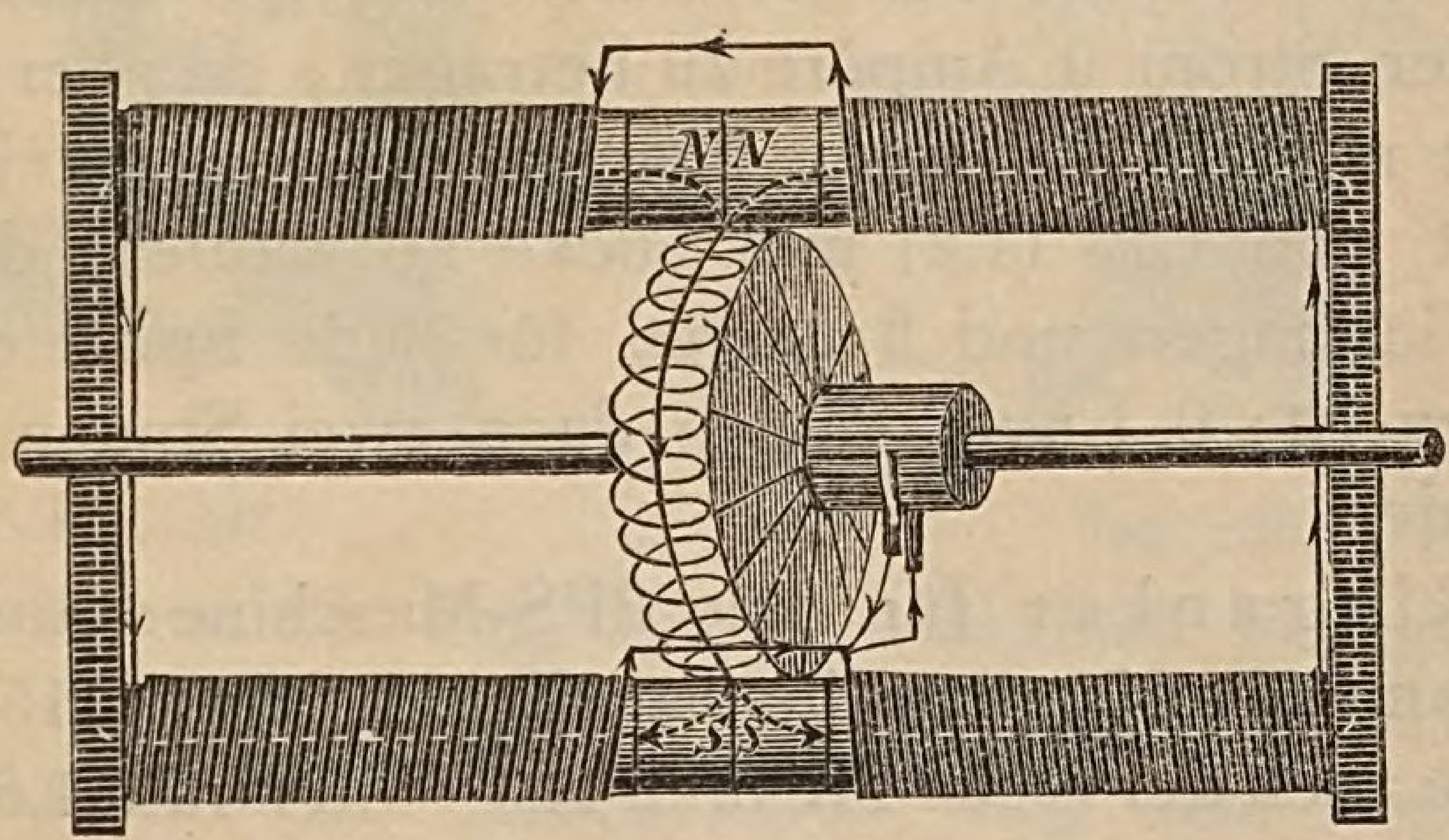


Fig. 296a.

einer Breite (nach der Achse) von 9 bis 10 cm und einer Dicke von 2,5 bis 3 cm gute Wirkungen ergeben. (Fig. 296 b.)

c. Der Widerstand dieses Ankerdrahts beträgt gestreckt 1 Ohm für Handelskupfer. Beim bewickelten zweipoligen Ring hat man jedoch nur den vierten Teil davon zu rechnen; als Widerstand des Ankers sind demzufolge 0,25 Ohm anzunehmen.

Ein Eisenkern aus Blechscheiben von 180 mm äusserem und 130 mm innerem Durchmesser und 100 mm Länge soll zwischen einem zweipoligen Magneten bei 2000 Umdrehungen in der Minute und mit Draht von 1,5 mm Dicke in 2 Lagen und in 48 Abteilungen bewickelt, einen Strom von 80 Volt und 15 Ampère erzeugen. Die 2 Feldspulen erfordern dann 5,5 kg Draht von 2 mm Dicke.

Ferner wird ein Zahnanker aus Blechscheiben von 76 mm Durchmesser und 152 mm Länge eine volle Pferdestärke geben. Jede der 8 Nuten sollte 16 mm tief und 100 mm breit sein. Auf 1 mm^2 des Drahtquerschnittes rechnet man 4 bis 5 Ampère. Werden 110 Volt bei 75% Leistung gewünscht, so hat der Strom 9 Ampère zu betragen; da aber jeder Draht nur mit $4^1/_2$ Amp. beansprucht wird, so ist ein Draht von 1,15 (1,2) mm Dicke zu wählen, der in 10 Windungen und 3 Lagen für jede Spule aufzuwinden ist; 6 Lagen bilden dann zwei Spulen übereinander.

Ringanker für eine 2PS-Maschine: äusserer Durchmesser 178 mm; innerer Durchmesser 115 mm; Länge nach der Welle 115 mm; 110 Volt; Draht 1,63 mm dick, 3 Lagen auf dem äusseren Umfang; 24 Spulen.

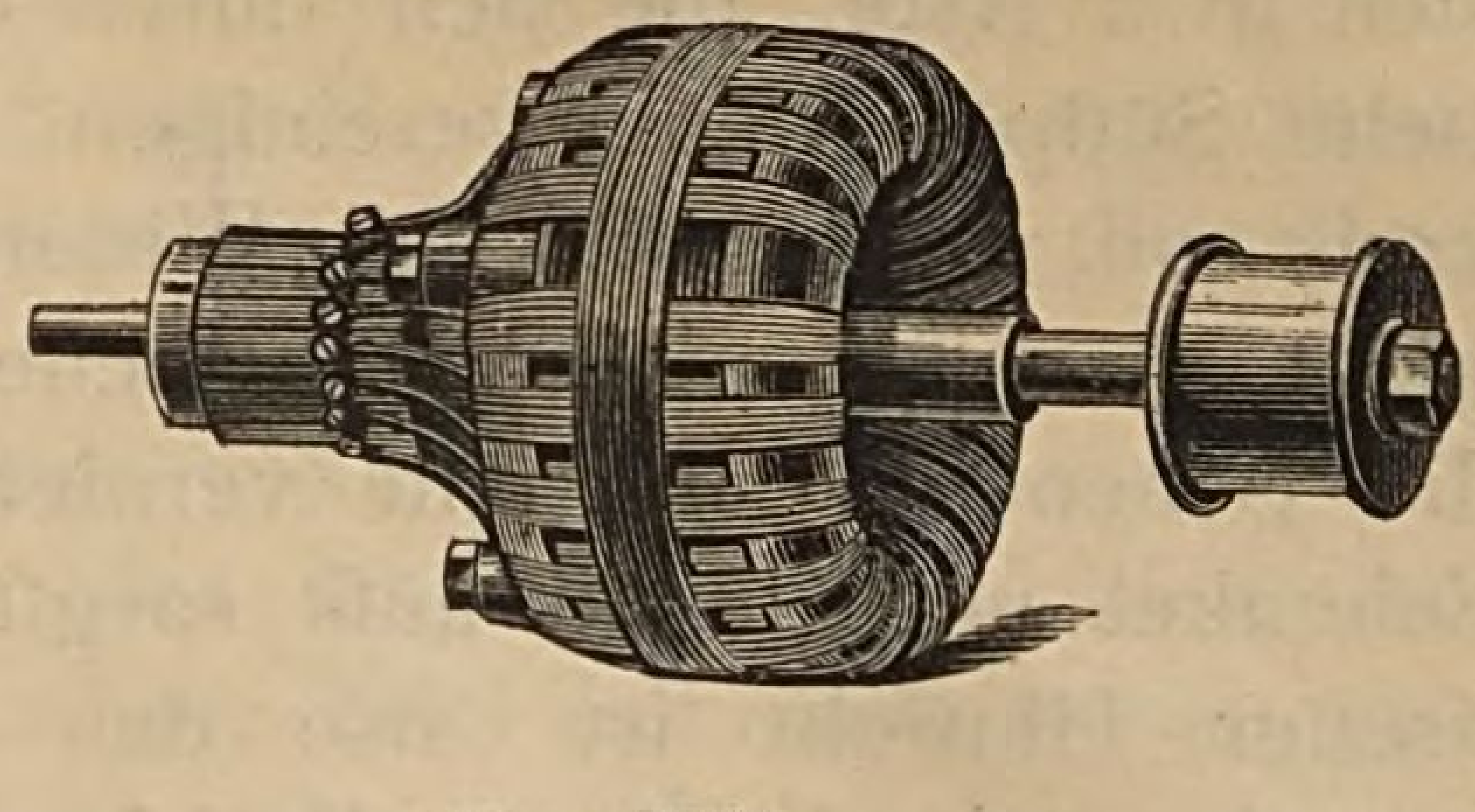


Fig. 296 b.

d. (Fig. 297 und 298.) Ein Anker von obigen Dimensionen erfordert als Feldmagneten zwei Kerne von 30 cm Länge und 5 cm Durchmesser; diese Maasse verteilen sich nach der in der Figur 297 angegebenen Form in 4 Zweige; jeder Zweig muss somit 15 cm lang und 5 cm dick sein. Diese 4 Zweige sind mit Draht zu umwickeln.

Damit die Magnetkerne Nord- und Südpol durch je zwei Zweigwickelungen in der Mitte erhalten, ist der Draht in der in Fig. 296 a angegebenen Weise aufzuwinden. Von dem oberen linken Zweige hat man nämlich beim Übergang auf den rechten oberen Zweig die Richtung zu wechseln; ebenso auf den beiden unteren Zweigen.

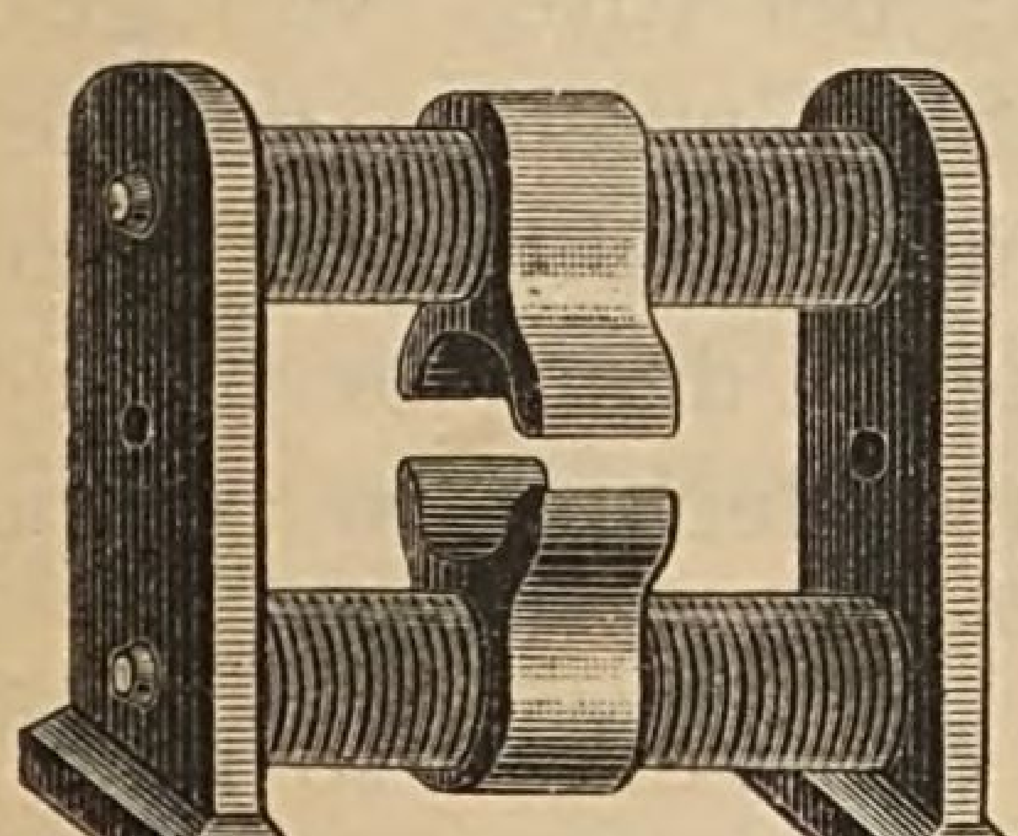


Fig. 297.

Polschuh.

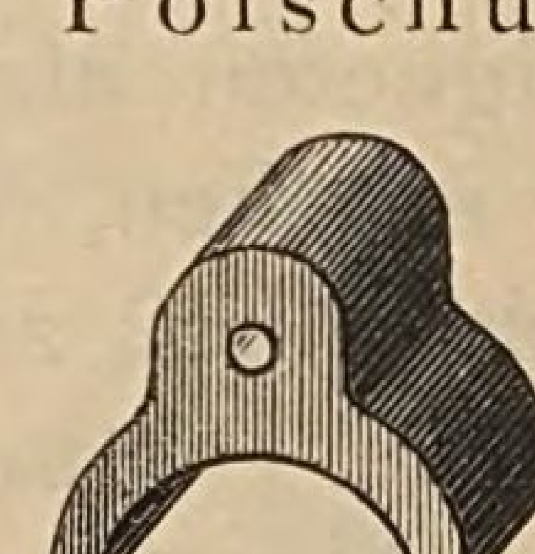


Fig. 298.

e. Die in der Fig. 296 a gestrichelt gezogenen Linien deuten den sogenannten magnetischen Stromkreis an. (Kap. VIII.) Von dem Nordpol dringt er durch das Eisen des Ankers und gabelt

sich in 2 Äste, die sich durch die Joche hindurch beim Südpol wieder vereinigen. Dieser Kraftstromkreis soll möglichst wenig Widerstand finden, darum giebt man Schenkeln und Jochen viel Eisen, macht die Schenkel kurz und vernietet und verschraubt Schenkel und Joche aufs sorgfältigste. In magnetischer Hinsicht ist also das einfache Hufeisen günstiger als das Doppelhufeisen der Fig. 297.

f. Der Widerstand der Feldmagnetenbewickelung soll in Nebenschlussmaschinen mit Ringanker etwa 400 mal so gross sein als die des Ankers; man hat darum einen Draht aufzuwickeln, der einen Widerstand von $400 \cdot 0{,}25 = 100$ Ohm besitzt. Ferner soll die Wanddicke einer Spule den Halbmesser des Kernes niemals übertreffen. Ein solcher Draht hat einen Durchmesser von 0,65 mm und wiegt 6,5 bis 7 kg. Verwendet man Draht von 0,7 mm Durchmesser, so sind 8 kg erforderlich.

Dabei ist vorausgesetzt, dass man das beste weichste Eisen gewählt hat; bei Eisen von geringerer Qualität, insbesondere bei Gusseisen, müsste man sowohl das Gewicht des Kupferdrahtes auf dem Feldmagneten als auf dem Anker in demselben Verhältnis erhöhen, als das Eisen schlechter ist, etwa im Verhältnis 2 zu 3.

g. Die Polschuhe sollen den Anker so nahe als möglich zu $\frac{2}{3}$ umschliessen, weil ihre Wirkung mit der Entfernung rasch abnimmt; ferner sollen die Magnetkerne so weit von einander abstehen, dass zwischen ihnen nur solche magnetische Kraftlinien übergehen, die ihren Weg durch das Ankereisen nehmen. (VIII. Regeln.)

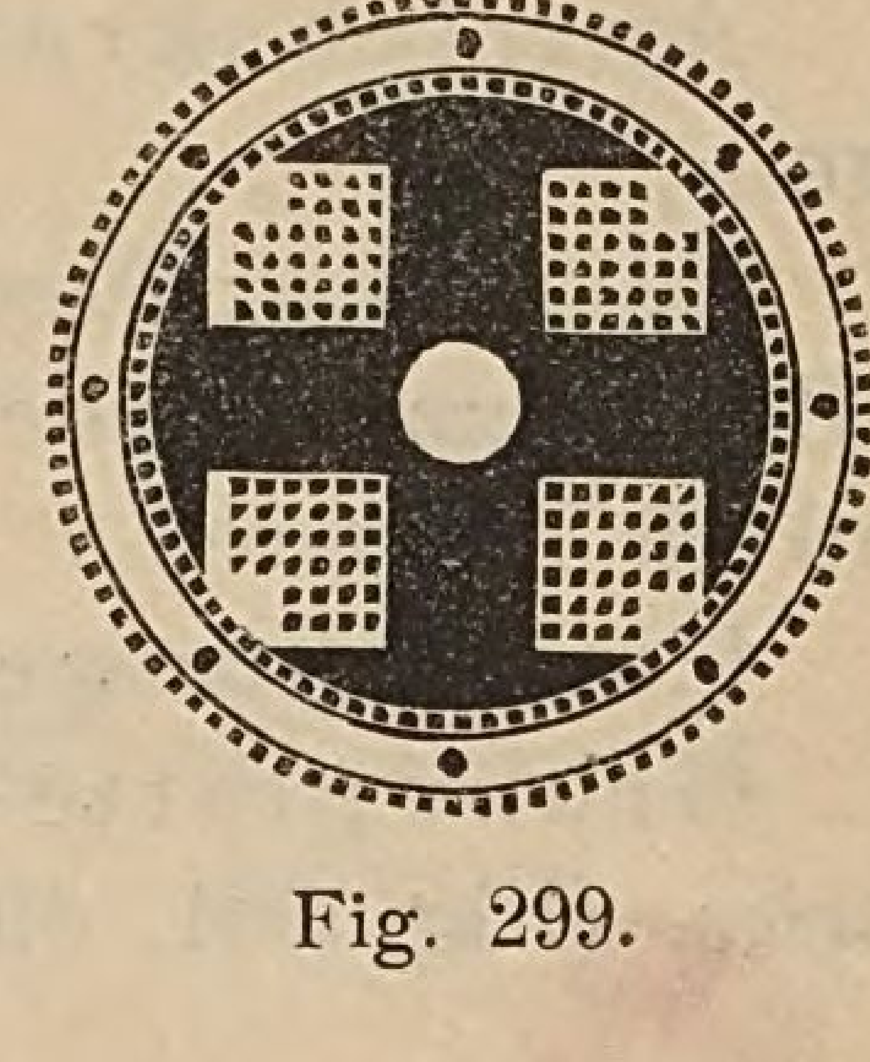
Alle Teile der Maschine müssen leicht zugänglich sein, um eine beständige Überwachung zuzulassen und um ein Auseinandernehmen zu gestatten.

h. Änderung der Umdrehungszahl bei gleicher Leistung. Werden Eisen- u. Kupfergewicht, die Stärke des magnetischen Feldes, der Ankerdurchmesser und die Zahl der Ankerwindungen einer Maschine verdoppelt, so kann für gleiche Leistung die Tourenzahl auf die Hälfte vermindert werden.

i. Anderungen auf Leistungen. Eine Maschine, welche das $1\frac{1}{2}$fache Eisen- und Kupfergewicht einer gegebenen ähnlichen hat, leistet das Doppelte.

Eine Innenpolmaschine.

(Fig. 299 und 300.) In grösseren elektrischen Maschinen wird der Feldmagnet durch 4 feststehende, im Kreise radial geordnete, mit Draht umwickelte Eisenkerne gebildet. Um dieses Elektromagnetkreuz rotiert ein Ringanker, dessen Eisenkern aus gut von einander isolierten Eisenblechscheiben besteht. Der Ring wird zusammengehalten von 12 Metallbolzen. Die Zahl der einzelnen Rollen beträgt 96. Demgemäss besteht auch der Sammler aus 96 einzelnen Metallstücken, an welchen 4 Bürsten schleifen, da ja auch 4 Magnetpole vorhanden sind.


Fig. 299.

Diese Anordnung hat die Vorteile, dass die Feldmagnete einen kleinen magnetischen Widerstand besitzen, dass der Ringanker bei grösserer Geschwindig-

keit eine verhältnismässig geringe Umdrehungszahl gestattet, dass die Erwärmung der Maschine gering ist und dass alle Teile leicht zugänglich sind.

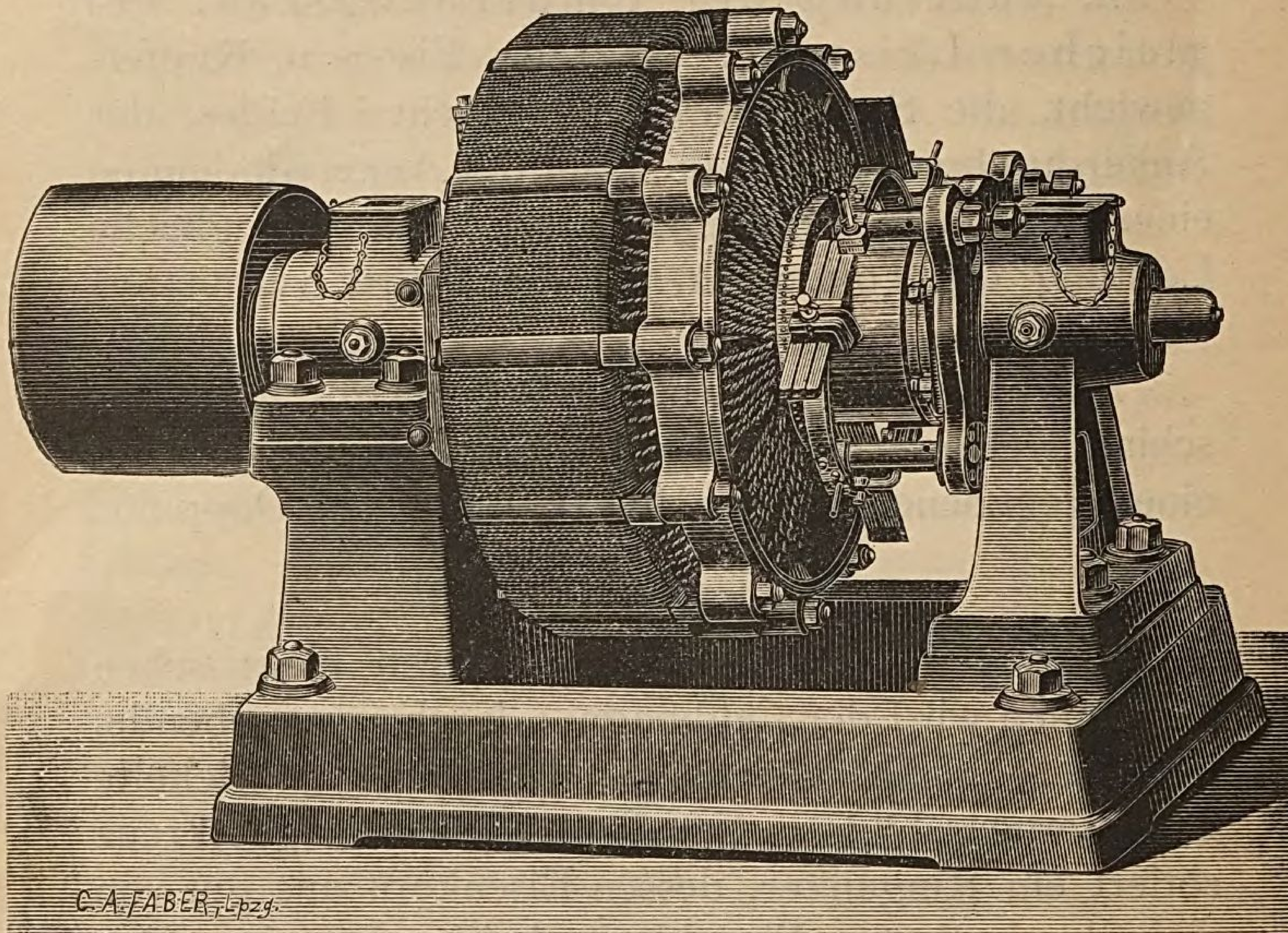


Fig. 300.

Maassangaben zu einer 20-Lichtmaschine.

Antriebskraft: 2 PS (Pferdestärke = 2 · 75 kgm).

Leistung: 20 sechszehnkerzige Glühlampen oder 2 Bogenlampen jede zu 2000 Normalkerzen. 80 Volt und 15 Ampère.

Umdrehungen in der Minute 2200.

Grundplatte = Gusseisen; ebenso die Lagerböcke. (Fig. 301, 301a.)

M a g n e t: Joch und Polschuhe aus weichem Gusseisen; Kerne aus Schmiedeeisen, kreisrund, an den Enden sorgfältig auf Joch und Polschuhe gepasst.

Die Polschuhe stehen, damit der Magnetismus nicht auf die Grundplatte übergeht, auf Zink. Untertypus.

W e l l e aus Stahl; sie läuft in Büchsen aus Rotguss, die Lagerdeckel haben. (Fig. 301a.)

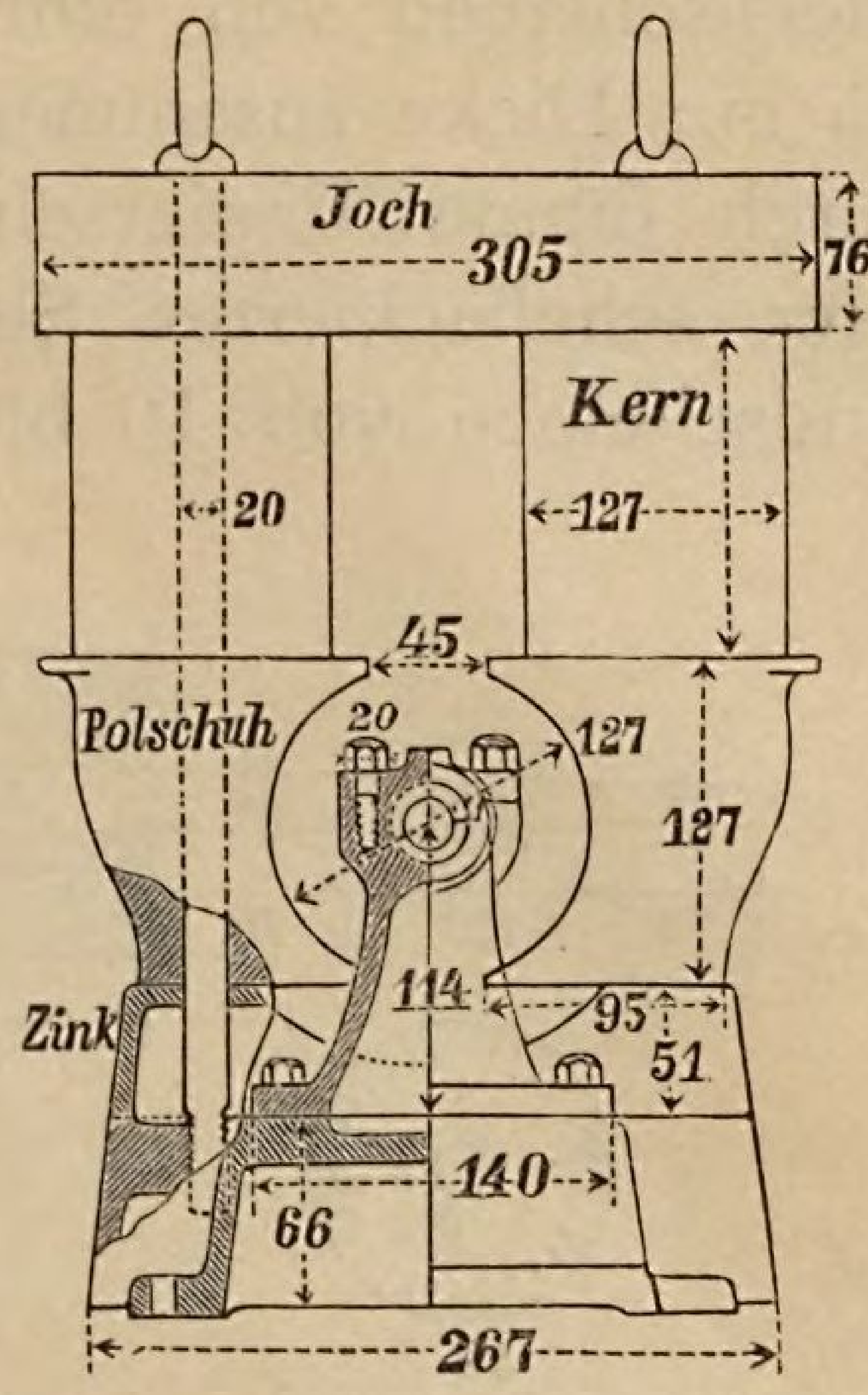


Fig. 301.

D e r A n k e r k e r n (Fig. 302, 302a) ist aus

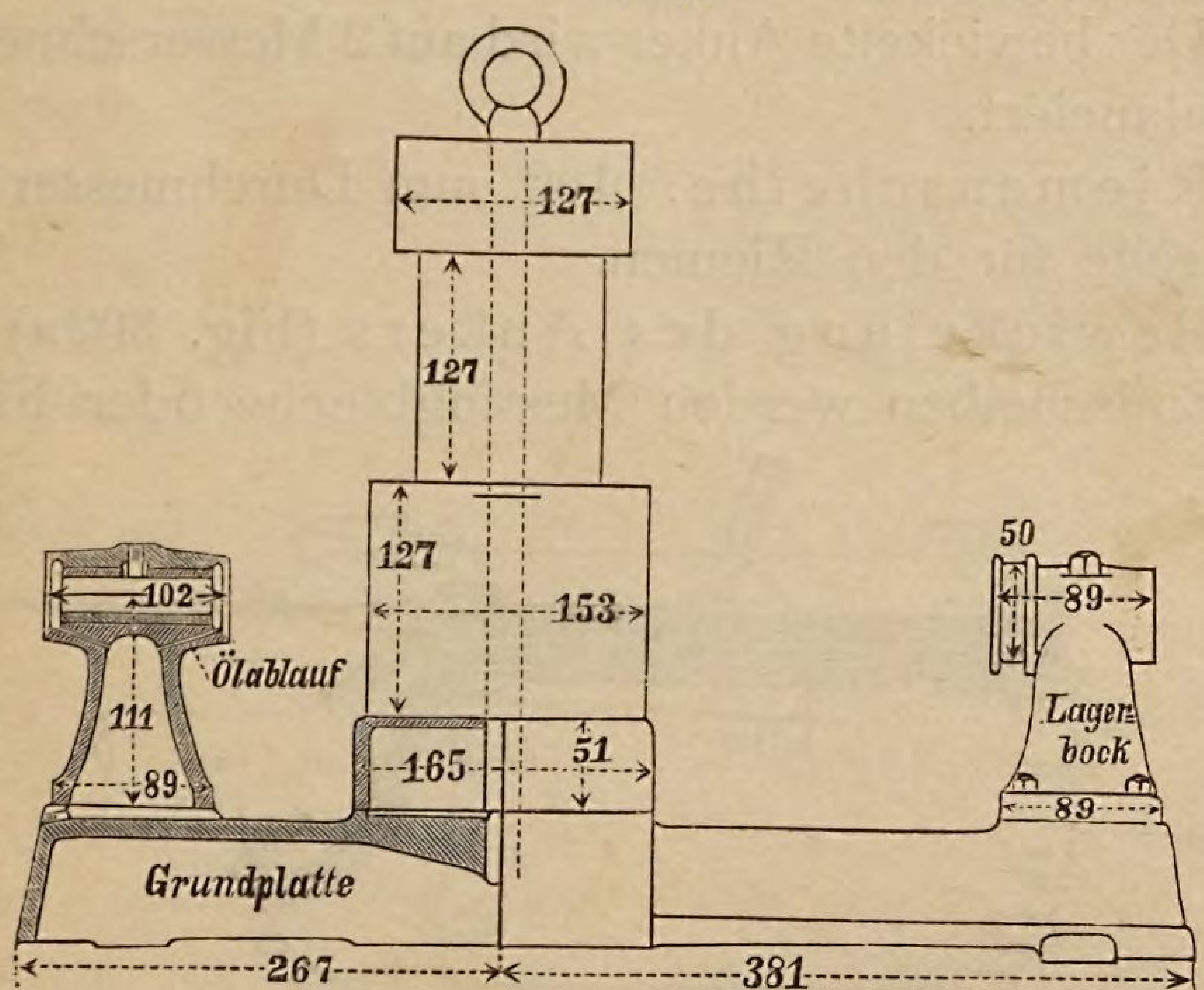


Fig. 301 a.

Blechscheiben von sehr weichem Eisen und 0,3 bis 0,5 mm Dicke zusammengesetzt; diese Scheiben sind durch dünne Papierscheiben (2 Blätter Pauspapier oder schellackiertes Seidenpapier getrennt). Die Endscheiben von 10 bis 12 mm Dicke sind aufge-

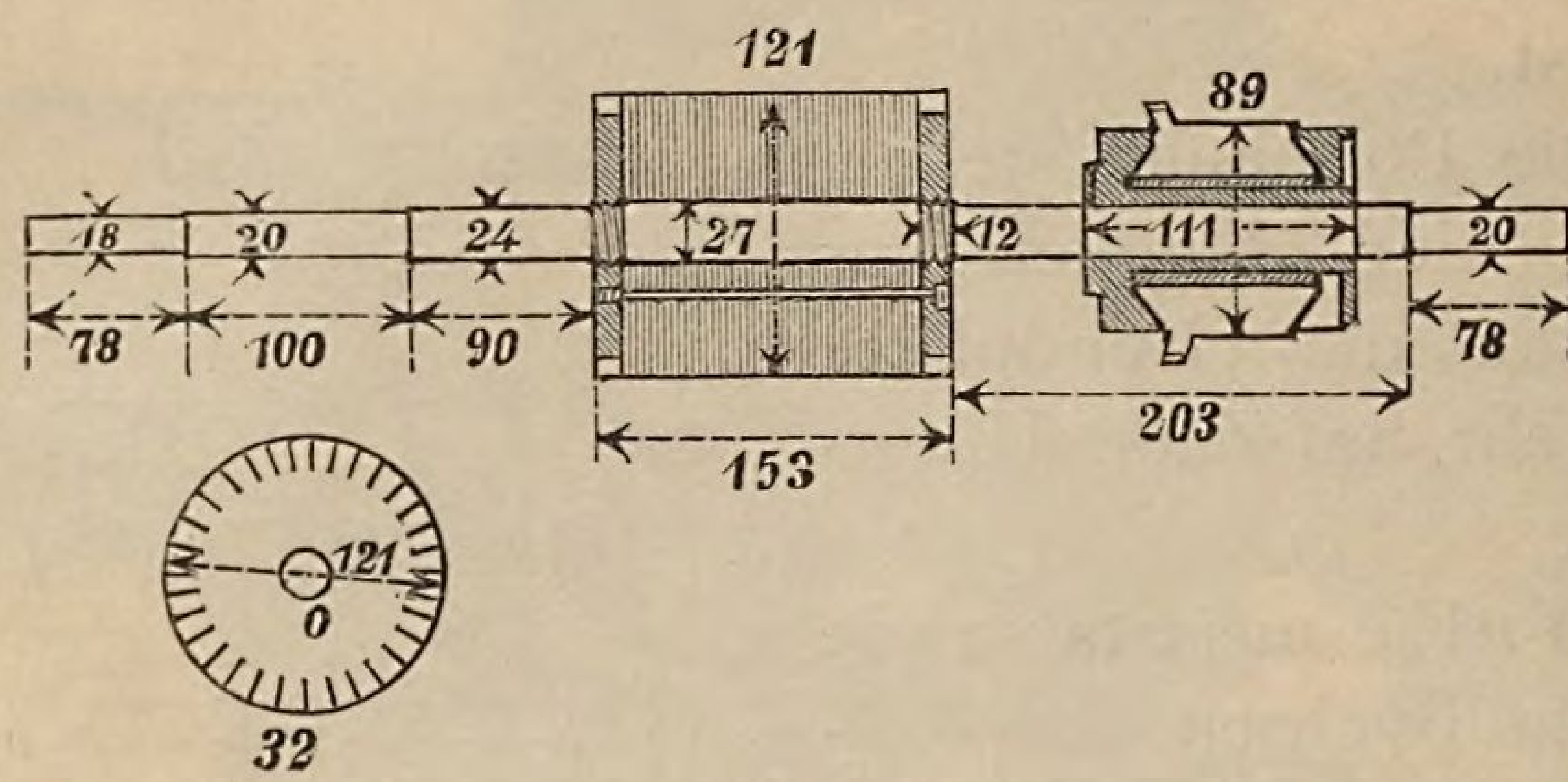


Fig. 302.

schraubt. Ein Bolzen, mit Papier überzogen, hält den wohl gepressten Kern zusammen.

Der bewickelte Anker wird auf 2 Messerschneiden ausbalanciert.

R i e m e n s c h e i b e: 100 mm Durchmesser und 75 Breite für den Riemen.

B e w i c k e l u n g d e s A n k e r s (Fig. 302a). In die Endscheiben werden Messingbleche oder Fiber-

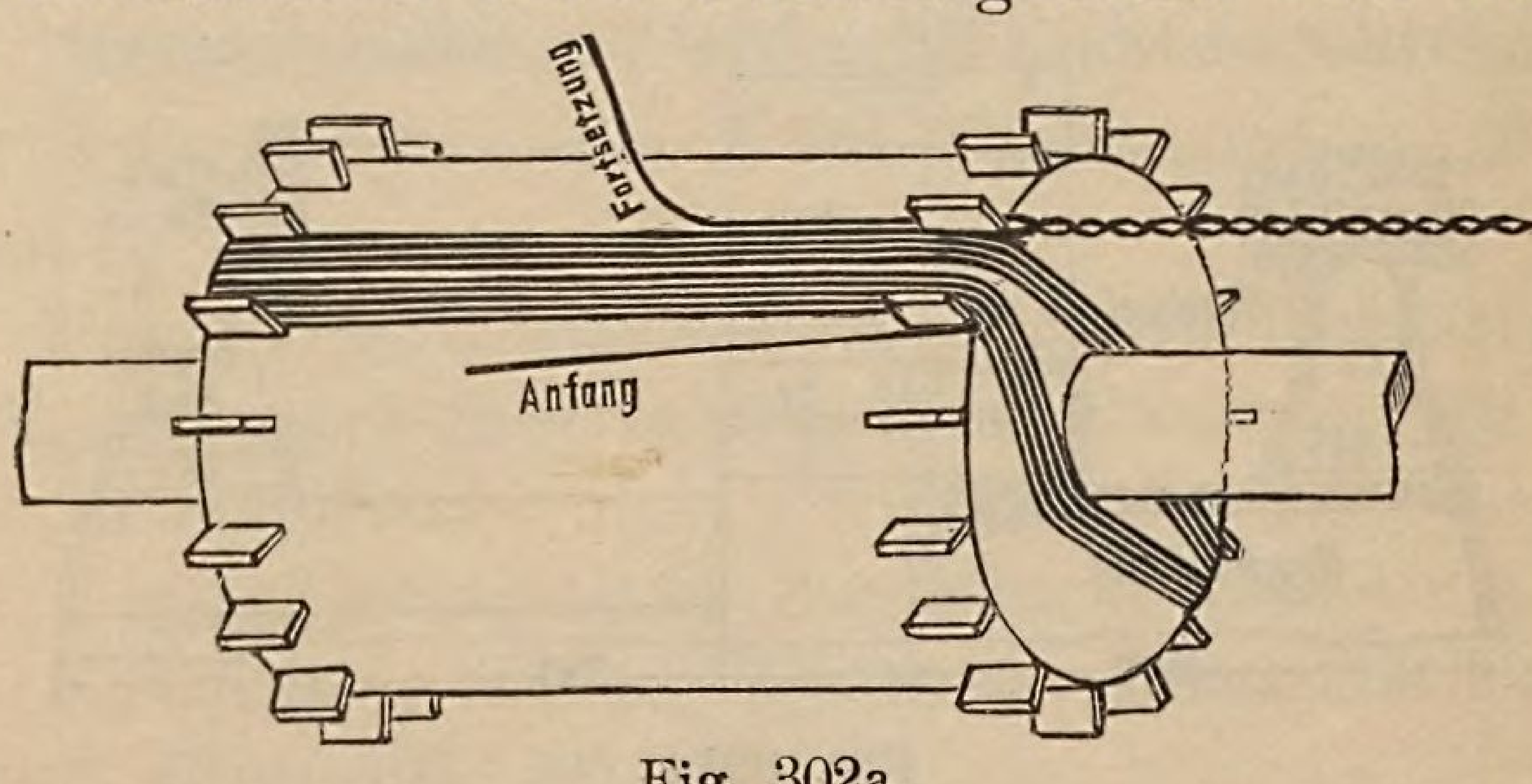


Fig. 302a.

platten eingeschlagen und so die Abteilungen begrenzt.

Siemens-Wickelung für 75-voltige Lampen; Drahtdicke 1,5 mm blank, doppelt mit Baumwolle umhüllt; 32 Abteilungen; jede Abteilung 2 Lagen; jede Lage mit 6 Windungen.

Man legt 6 Lagen in eine Abteilung, macht dann eine Schleife von etwa 100 mm Länge und bewickelt die nächste Abteilung; ohne jemals abzuschneiden windet man über die ersten Lagen die 16 zweiten Lagen. Jede Schleife wird mit einer Kommutatorlamelle verbunden, aber nicht mit der nächsten, sondern mit der vierten nach rechts oder links, je nach der gewünschten Drehrichtung; bei dieser Verschiebung erhält die Bürstenauflage nahezu horizontale Stellung.

Magnetspulen: 4550 gr. Draht für beide Spulen; Drahtdurchmesser 0,6 mm.

Bürstenhalter: Fig. 294 und 295.

Näherungs-Regel: Bei einer Zweipolmaschine soll der Durchmesser der Magnetkerne $\frac{4}{5}$ vom Ankerdurchmesser betragen, und deren Länge gleich dem Anker-Durchmesser sein.

Ein selbstthätiger Ladeunterbrecher für Accumulatoren.

Fig. 303. Wenn man den Strom einer Dynamomaschine benützt, um Accumulatoren zu laden, und wenn der zum Betrieb der Maschine verwendete Motor eine veränderliche Geschwindigkeit besitzt, so ist es notwendig, zwischen die Dynamomaschine und die zuladende Accumulatorenbatterie einen selbstthätigen

Ladeunterbrecher einzuschalten. Ein solcher Apparat hat die Bestimmung, die Rückentladung der Sammelzellen in die Dynamomaschine zu verhindern, welche eintreten kann, wenn die elektromotorische Kraft der Maschine infolge des verzögerten Ganges des Motors niedriger wird als die der Sammelzellen. Unter den verschiedenen Apparaten, welche ersonnen wurden, um dieses Rückströmen, das die Polarität der Maschine umkehren könnte, unmöglich zu machen, ist der vom Verfasser angegebene einer der einfachsten.

Auf einen Eisenkern A von 5 bis 6 cm Länge und 1 cm Dicke wickelt man zweierlei Drähte, einen dicken und kürzeren BB′, der einerseits mit dem negativen Pol des Accumulators verbunden ist und anderseits in ein Quecksilbergefäss eintaucht, und einen langen dünnen Draht, der zu der Kontaktschraube C und zu dem positiven Pol der Dynamomaschine geführt wird. DD′ ist eine Feder, die den weichen Eisenkern von dem Elektromagneten abzieht und sich an die Schraube C anlehnt. Diese Feder steht in elektrischer Verbindung mit dem negativen Pol der Dynamomaschine, deren positiver Pol mit den positiven Elektroden der Sammelzellen verbunden ist.

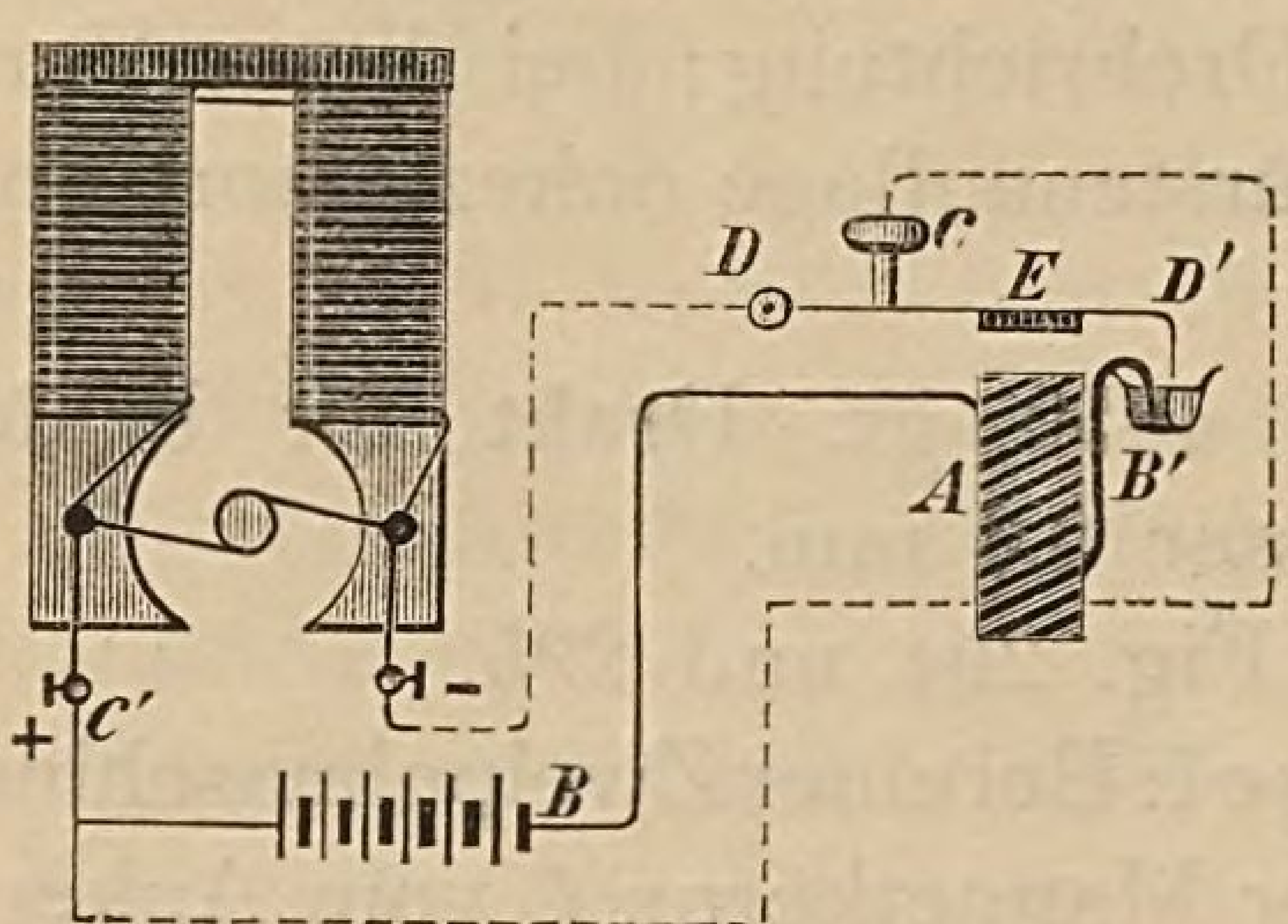


Fig. 303a.

Der Apparat wirkt in folgender Weise: Setzt man die Dynamomaschine in Bewegung, so geht der Strom zunächst durch die Erregerrollen; in dem Maasse als

er an Stärke gewinnt, durchfliesst er den feinen Draht des Elektromagneten A, bewirkt die Magnetisierung des Kernes, dieser zieht seinen Anker E herbei, der Kontakt bei C und damit auch der Kreislauf des Stromes durch den feinen Draht werden unterbrochen. Nun dringt der Strom durch die Sammelzellen, den dicken Draht BB', das Quecksilbergefäss, die Feder DD' und kehrt zum negativen Pol der Maschine zurück. Vermindert sich die Geschwindigkeit der Maschine derart, dass die Sammelzellen nicht mehr geladen werden, so wird ein Augenblick eintreten, in dem der Strom der Maschine und der der Sammelzellen im Gleichgewicht stehen, die Magnetisierung von A aufhört, E nicht mehr angezogen wird, die Feder DD' zurückschnellt, der Strom am Quecksilbergefäss unterbrochen, dagegen über den feinen Draht geschlossen wird. Sobald die Maschine ihre normale Umdrehungszahl wieder erreicht, beginnt der beschriebene Verlauf der Vorgänge von neuem.

Einige Triebkräfte für Dynamomaschinen.

„Kraft“ oder nach neuerer Bezeichnung „Energie“ ist die Bezeichnung für das Maass der zu leistenden Arbeit. Ein Mann, der eine Kurbel treibt, vermag täglich 8 Stunden zu arbeiten und in jeder Sekunde 6 kgm oder 60 Volt-Ampère zu erzeugen. Ein Volt-Ampère ist die in einem Stromkreise entwickelte Kraft, wenn in 1 Sekunde 1 Ampère durch den Leitungsweg fliesst, an dessen Enden eine Spannungsdifferenz von 1 Volt herrscht; 1 Volt-Ampère verrichtet in einer Sekunde 0,10105 kgm oder in 1 Minute 6,0632 kgm und ist $\frac{1}{736}$ einer Pferdekraft. Ein Zugpferd leistet

etwa 10 mal mehr als ein Mann, etwa 600 Volt-Ampère in der Sekunde. Von diesen Ziffern hat man jedoch, um die verfügbare Elektricitätsmenge zu erhalten, in Wirklichkeit 10 bis 15 % abzuziehen.

Modell eines dynamoelektrischen Motors.

Legt man die rechte Handfläche so auf eine Spirale des Feldmagneten (Fig. 303b), dass die Finger nach der Richtung des Stromes weisen, so zeigt der ausgestreckte Daumen nach dem Nordpol. Der

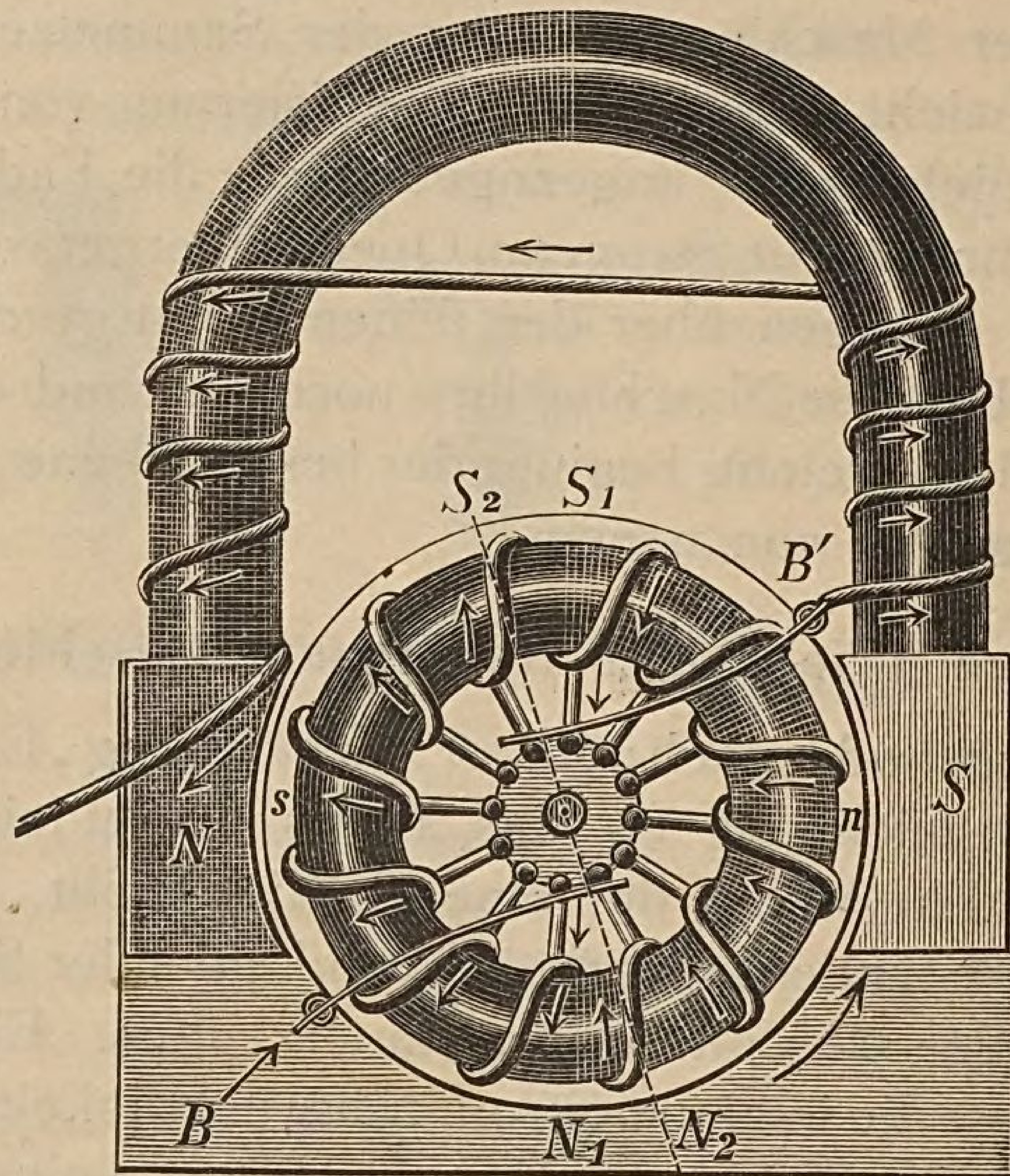


Fig. 303b.

Feldmagnet wird somit die Pole N und S erhalten, weil der positive Strom die durch die Pfeile angedeutete Richtung hat.

Denkt man sich den Ankerkern nach der zu NS

senkrechten Richtung oder nach den Eintrittsstellen des Stromes aufgeschnitten (vergl. Fig. 284) und tritt der Strom bei B ein und bei B' aus, so verteilt er sich in die Windungen der beiden Ringhälften und erzeugt in ihnen zwei Pole, die nach derselben Regel zu bestimmen sind: der Daumen weist sowohl in der linken als in der rechten Hälfte nach N_1. Der Anker wird also quer zu der Richtung des Feldmagneten magnetisiert. Dieser aber magnetisiert den Anker nach der Richtung n s. Der magnetische Durchmesser des Ankers setzt sich somit nach dem Parallelogramm der Kräfte aus den beiden $N_1 S_1$ und n s zusammen, etwa nach $N_2 S_2$; dahin, wo diese Linie den Kommutator schneidet, müssen also die Bürsten verschoben werden. Aus der Abstossung der Pole $S S_2$ und der Anziehung der Pole $N S_2$ erfolgt die Drehung des Ankers von rechts nach links. Die Lage von $N_2 S_2$ muss sich nach dem Verhältnis der Stärke der Magnetismen N S und $N_1 S_1$ ändern; je schwächer $N_1 S_1$ wird, desto mehr werden die Bürsten in der Richtung $N_1 S_1$ aufzulegen sein. Die Wirkung des Quermagnetismus des Ankers auf den Magnetismus des Feldmagneten nennt man die Rückwirkung (Reaktion) des Ankers. Um diese Rückwirkung des Ankermagnetismus zu schwächen, giebt man dem Anker in stromerzeugenden Maschinen möglichst wenig Kupferdraht und sucht dagegen den Feldmagnetismus zu erhöhen. Sollte der Anker Strom erzeugen, so müsste er im Sinne der Uhrzeiger, also von links nach rechts, angetrieben werden; der Stromlauf wäre dann derselbe, wie ihn die Pfeile andeuten.

Eine dynamoelektrische Trieb- und Dynamomaschine.

Um sich den Vorteil zu sichern, einen ununterbrochenen magnetischen Kreis im Feldmagneten (Fig. 304 und 305) zu haben, thut man wohl daran, diesen samt Polschuhen in schmiedbarem Guss herzustellen. Hierzu ist nach den in den Figuren angegebenen Maassen ein Holzmodell herzustellen und dieses dem Giesser zu übergeben.

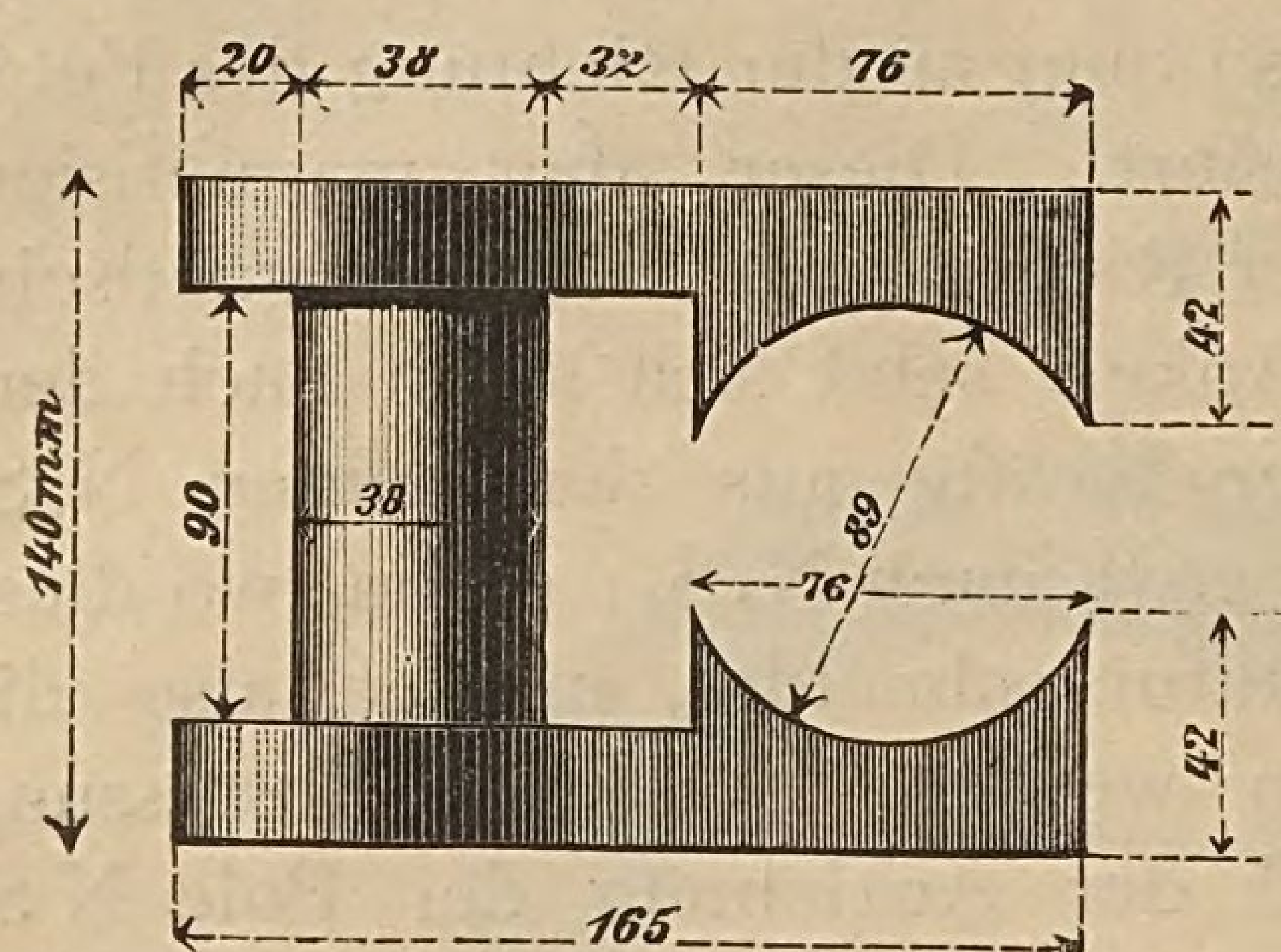


Fig. 304.

Die Dimensionen sind für einen Motor mit einem Anker von 88 mm Durchmesser bestimmt. Einen kleineren Anker zu wählen, ist nicht ratsam, da es schwierig ist, einen solchen zu bewickeln.

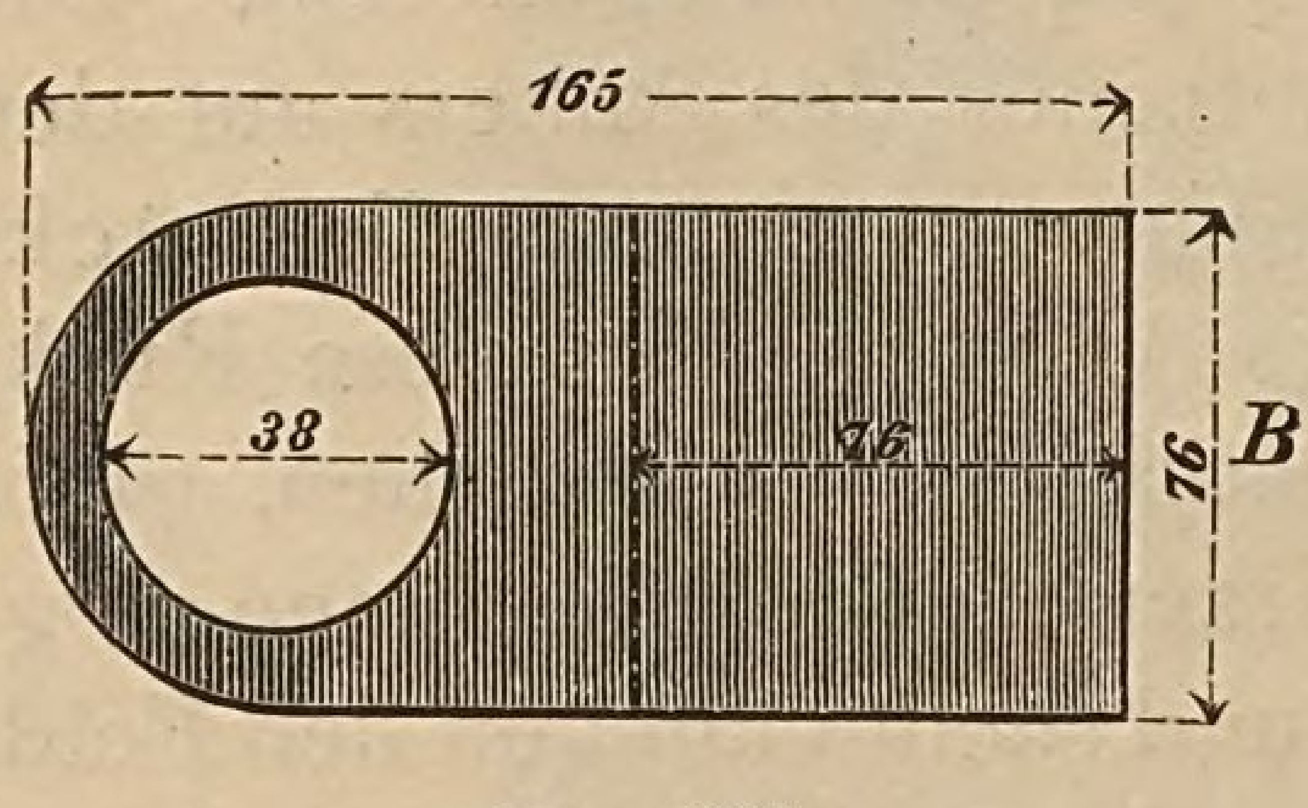
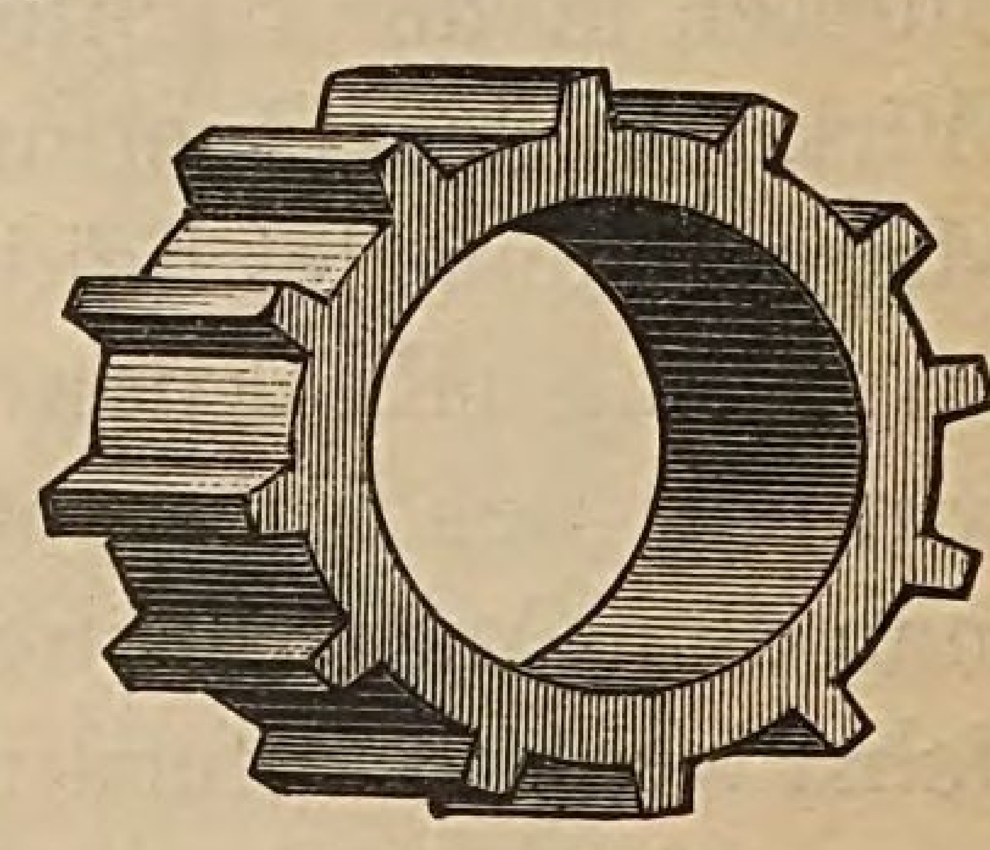


Fig. 305.


Fig. 306.

Der Anker (Fig. 306) besteht gleichfalls aus schmiedbarem Gusseisen; er hat einen Durchmesser von 75 mm und 12 Zähne, von denen jeder 4,8 mm breit und 6,4 mm hoch ist. Das Ringeisen selbst ist

9,5 mm dick, so dass der innere Ringdurchmesser etwa 57 mm beträgt und genügenden Raum gewährt, um den Draht beim Winden hindurch zu lassen; die Breite des Ringes nach der Achse beträgt 59 mm.

Noch vor dem Aufwinden des Drahtes muss der Anker auf eine Achse gesetzt und mit einem Kommutator versehen werden.

Die Achsenträger, welche an die Polschuhe angeschraubt werden, lässt man aus Messing giessen; der hintere Träger ist 127 mm lang und der vordere (vor dem Kommutator) von der Basis bis zum Achsenloch 63,5 mm hoch. (Fig. 307 und 308.)

Die Achse ist ein Rundstahl von 9,5 mm Dicke und 203 mm Länge; sie wird an den Enden um 1,5 mm abgedreht, damit sie in die 6,5 mm weiten Löcher der Träger passt. Das Ende, auf welches die Riemenscheibe zu stehen kommt, muss 26 mm über den hinteren Träger hinausragen. Es ist ratsam, die Löcher für die Träger erst dann zu bohren, wenn Anker und Kommutator fertig auf ihrer Achse sitzen.

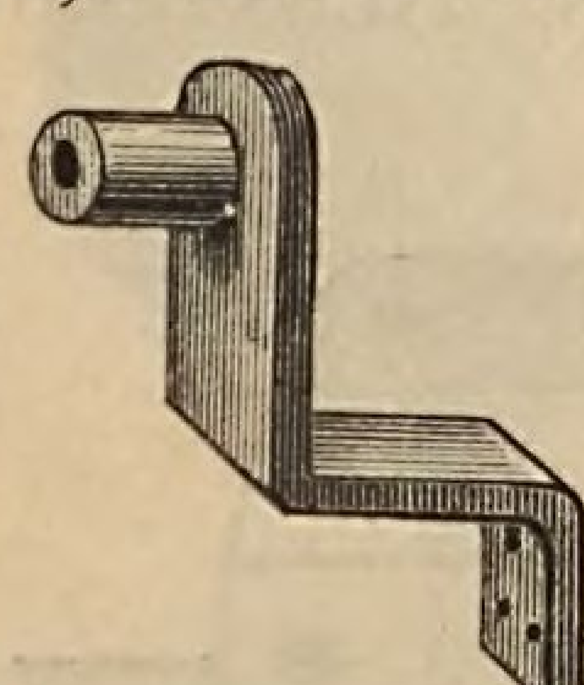


Fig. 307.

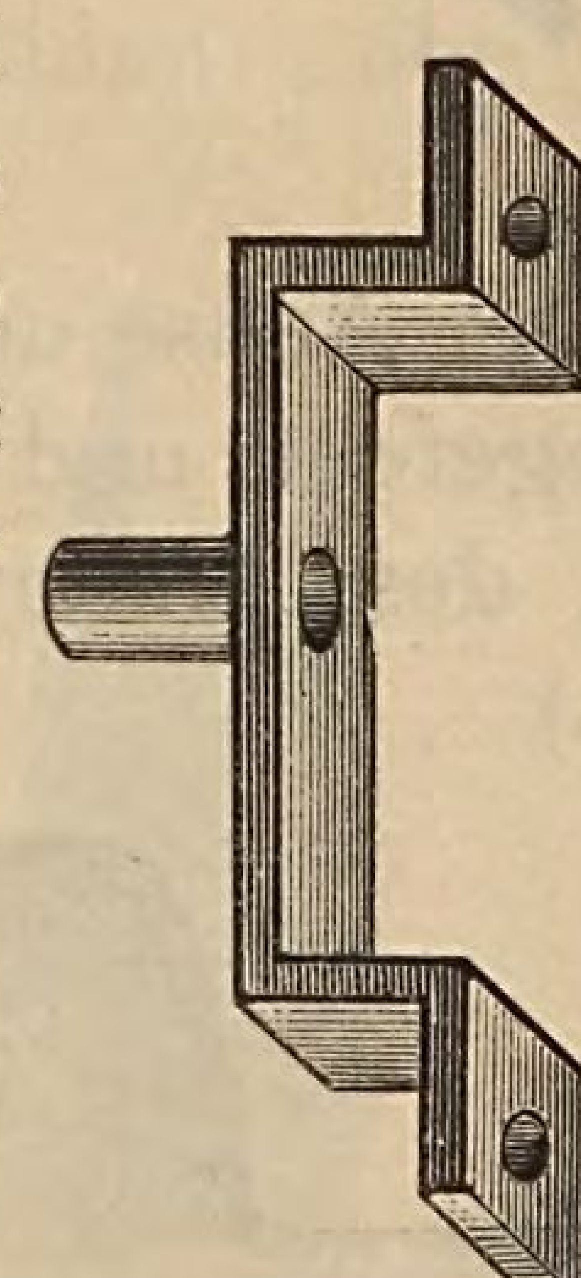


Fig. 308.

Der Anker wird (Fig. 309) mittels eines aus

Messing gegossenen Dreistrahls auf der Achse befestigt. Die Vorsprünge dieser Speichen dürfen über die Ankerzähne radial nicht hinausreichen. Sind diese Vorsprünge an die Zähne angeschraubt, so wird das Achsenloch von 9,5 mm Durchmesser gebohrt und zwar muss mit aller Sorgfalt centriert werden; der Anker würde sonst schwanken. Dann

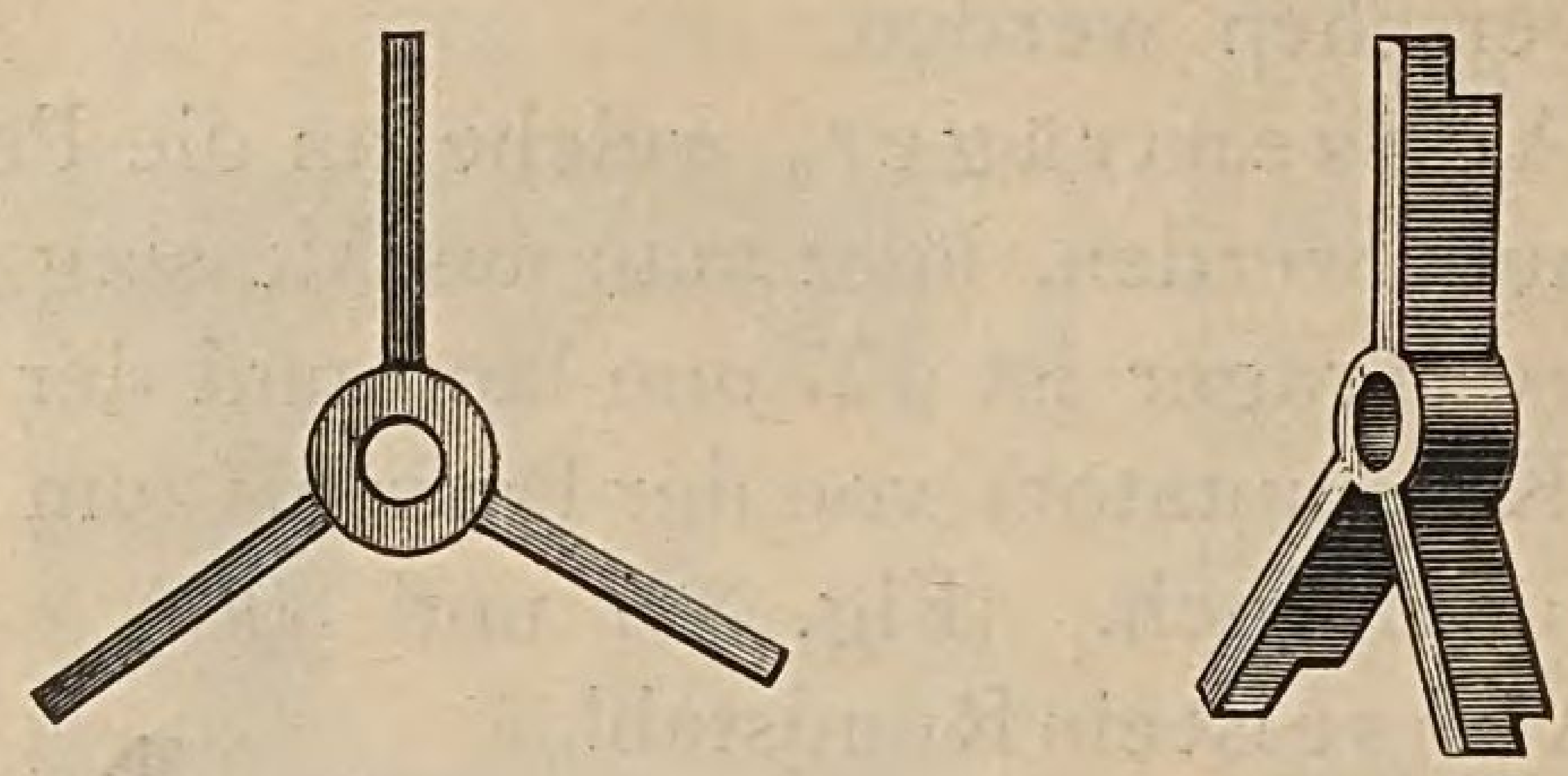


Fig. 309.

wird an der Achse und am Achsenloch ein schmales Stück abgefeilt und dazwischen ein Keil zur Befestigung des Ankers auf der Achse eingetrieben (Fig. 291.)

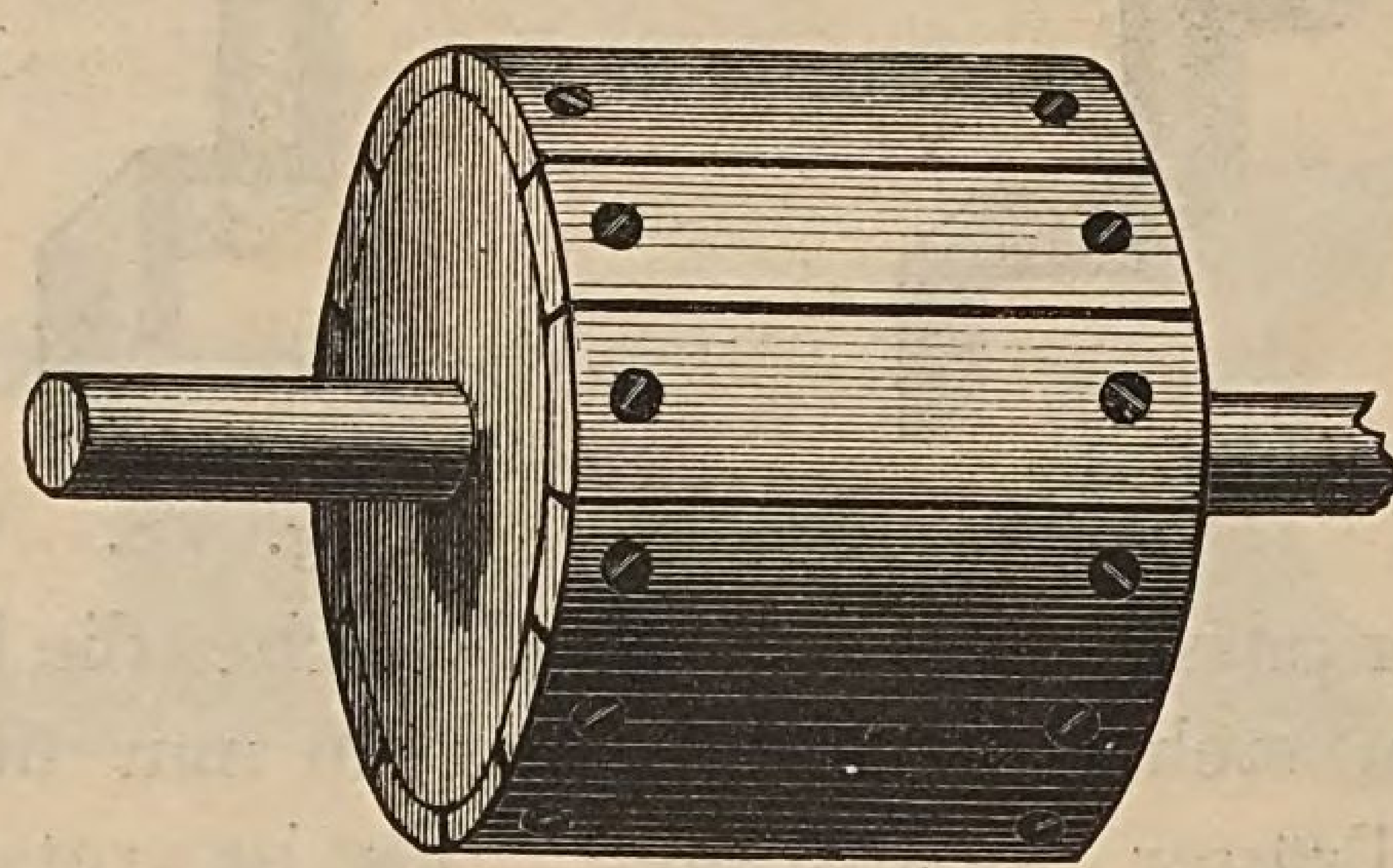


Fig. 310.

Der Kommutator (Fig. 310) bekommt 12 Lamellen. Ein Stück Hartholz wird auf der Achse zu einem Cylinder von 32 mm Durchmesser und 25 mm

Länge abgedreht und darüber ein passendes Messingrohrstück von 1,5 bis 2 mm Dicke geschoben und dieses in 12 gleiche Teile geteilt; an beiden Enden jeder Längslinie werden Löcher gebohrt und in diese kurze, gegen den Anker hin halbrundköpfige und gegen das andere Ende hin flachköpfige Schrauben eingedreht, die jedoch die Achse nicht erreichen dürfen. (Fig. 290.)

Hierauf zieht man wieder 12 Linien in gleichen Entfernungen zwischen den Schrauben und sägt nach ihnen den Ring durch. Jede Lamelle wird nun für ihre Stelle bezeichnet und abgeschraubt, dann der Holzcy-

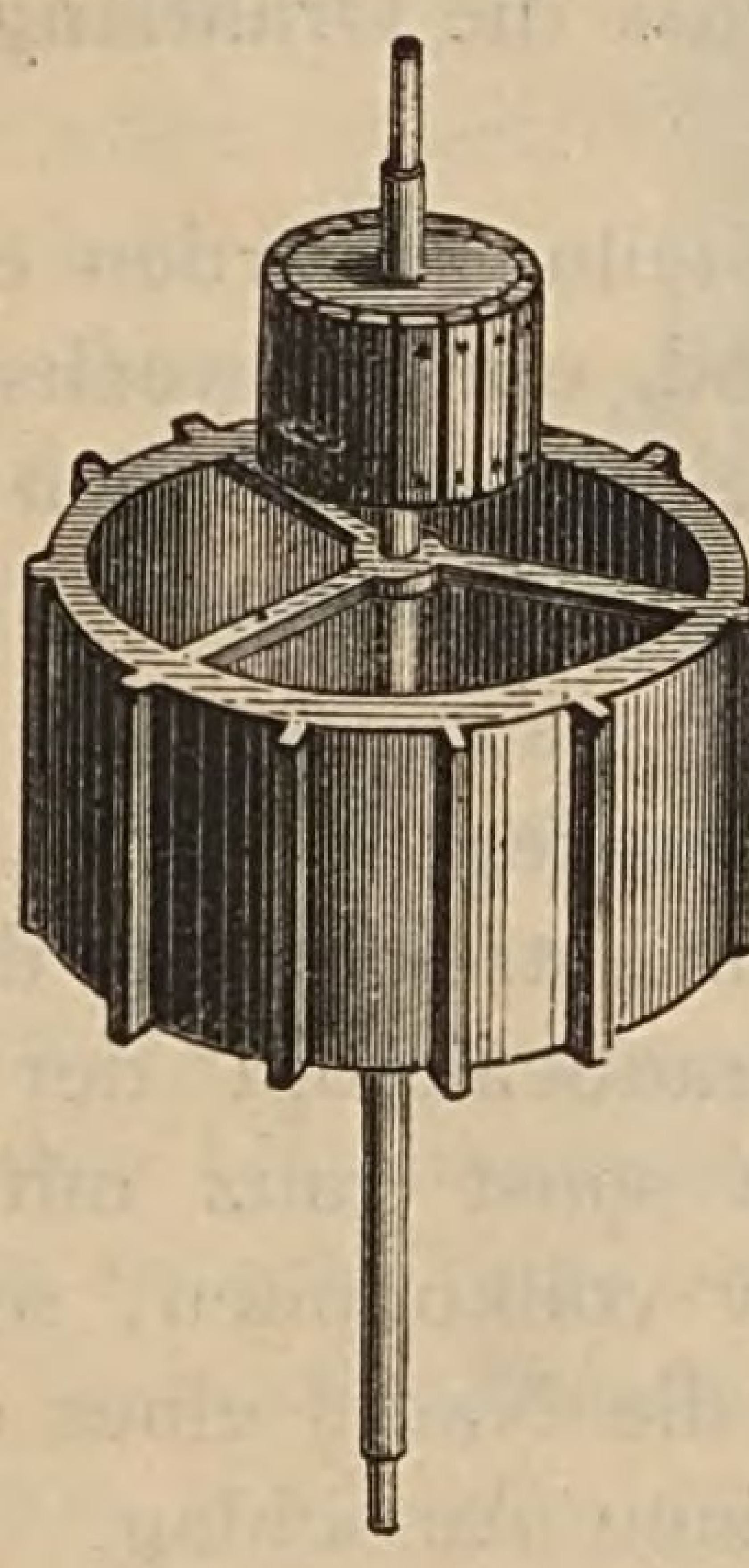


Fig. 311.



Fig. 312.

linder mit Seide überzogen und diese gut aufgeleimt; nach dem Trocknen bringt man die Lamellen wieder an ihre Stellen.

In gleicher Weise wird der Anker mit Seide überleimt und diese nach dem Trocknen mit Schellack getränkt. An die Zähne, an welche der Drei-

strahl geschraubt gewesen, schraubt man Hartholzstücke von der Breite der Speichen, damit beim Aufwickeln der Draht über diese Zähne nicht übergreift. (Fig. 311.)

Der Draht für eine Ankerabteilung wird auf ein aus dünnem Holz gesägtes Schiffchen gewickelt. (Fig. 312.) Da der ganze Anker etwa 460 g Draht erfordert, so werden für eine Abteilung 38 bis 40 g ausreichen. Der Anker wird nun gewogen, eine Abteilung mit Draht bewickelt und dann wieder gewogen; nach dem Gewichtsunterschied wiegt man noch 11 Stücke ab, so dass die Drahtlänge für jede Abteilung gesichert ist.

Die Enden jeder Abteilung werden etwas übereinander geschlungen, und, um Verwechselungen zu vermeiden, wird dann eines der Enden mit roter schnelltrocknender Farbe bezeichnet.

So oft eine Abteilung gewunden ist, untersucht man sie auf Isolation. Man legt den Pol einer Batterie an ein Drahtende und streicht mit dem andern Poldraht an einem Schraubenknopf der Hartholzstücke (der Ring ist ja sonst ganz mit Seide bedeckt); ist die Isolation vollkommen, so erscheint kein Funke oder zeigt die Nadel eines eingeschalteten Galvanometers keinen Ausschlag.

Die Verbindung der Ankerdrähte mit dem Kommutator geschieht, wie bei der Dynamomaschine angegeben.

Den bewickelten Anker tränkt man entweder mit dünnem Schellack oder bringt man Paraffin auf die Abteilungen und lässt dieses in einem warmen

Ofen völlig einschmelzen. Dieses Verfahren ist insbesondere für kleinere Anker zu empfehlen.

Das Bewickeln des Feldmagneten (Fig. 313) ist sehr einfach, wenn man ihn zwischen zwei Schraubenspitzen umdrehen lässt. Auch hier wird der Kern mit Seide oder Papier überzogen. Die Wirksamkeit des Motors wird besonders an feuchten Orten erhöht, wenn der Draht wohl paraffiniert ist. Damit die letzte Lage nicht aufspringt, wird sie mit gutem heissen Leim auf die vorhergehende aufgeklebt. Am Anfang und Ende lässt man ca. 30 cm Draht frei, damit man ihn zu den Bürsten und Polklemmen führen kann.

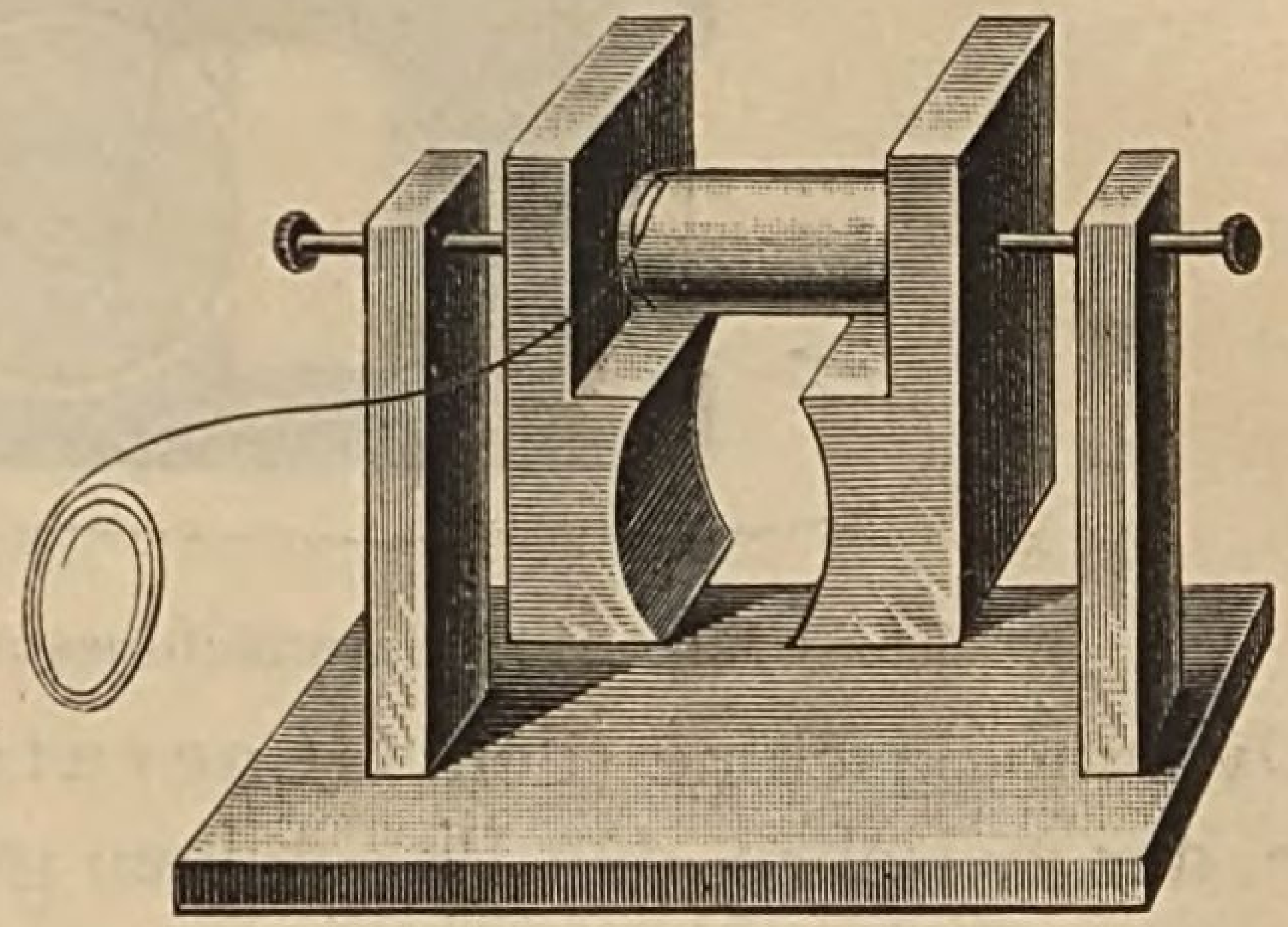


Fig. 313.

Bürsten und Bürstenhalter sind dieselben wie die bei den Dynamomaschinen beschriebenen.

Nachdem so alle Teile vorbereitet sind, werden sie montiert, d. h. die Maschine zusammengesetzt.

Der Motor wird wie die Dynamomaschine in Hauptschluss und Nebenschluss geschaltet. (Fig. 314 und 315.) Beim Hauptschluss fliesst der ganze Strom durch das Gewinde des Feldmagneten und das des Ankers; beim Nebenschluss stehen dem in den Bürsten ankommenden Strome zwei Wege offen, der eine durch den Feldmagneten und der andere durch den Anker.

Der Hauptschlussmotor läuft sehr schnell an, ändert aber schon bei geringen Schwankungen in der Belastung die Tourenzahl.

Der Nebenschlussmotor läuft langsamer an und behält bei wechselnder Belastung nahezu dieselbe Tourenzahl.

Die Bürsten drücken beim Motor, wie bei der

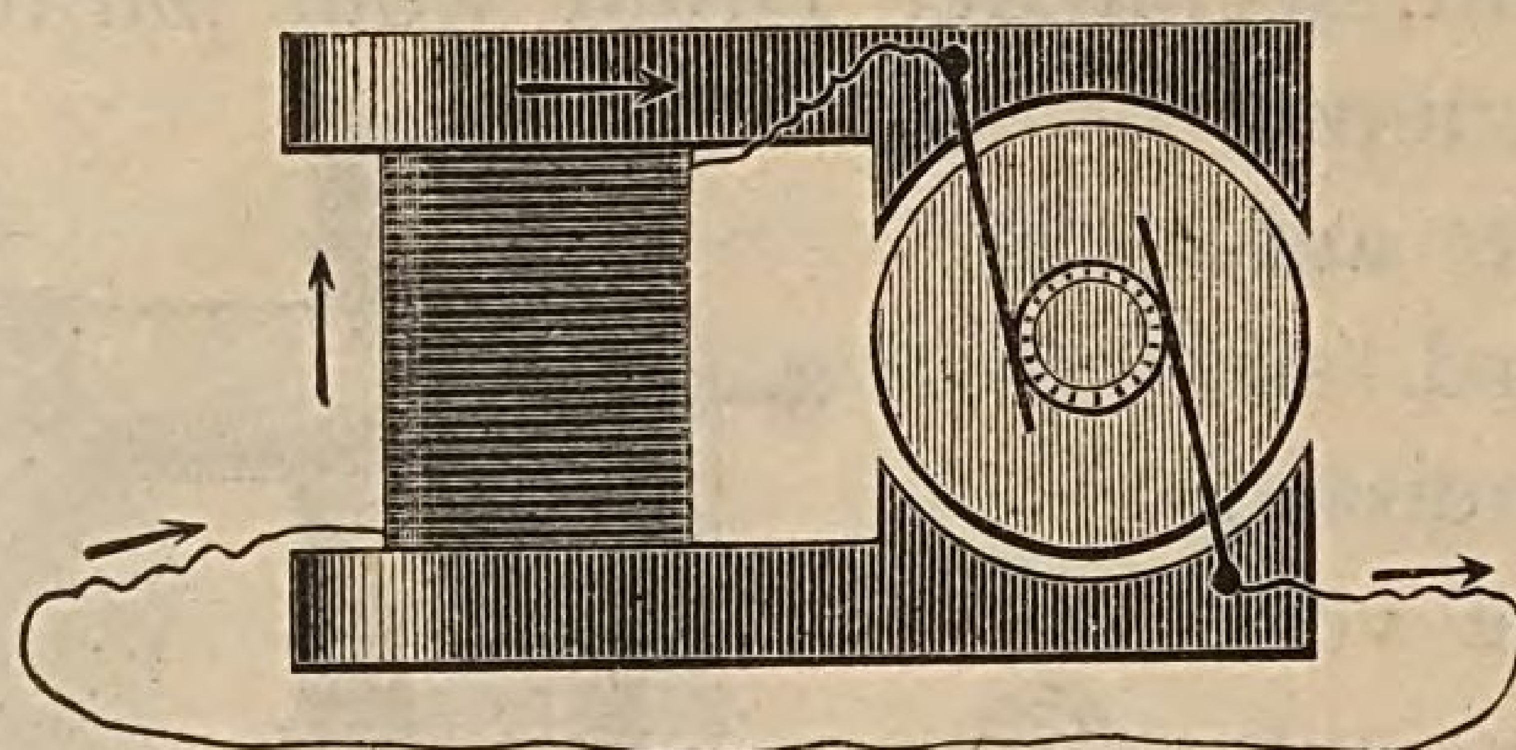


Fig. 314. Hauptschlussmotor.

Dynamomaschine (dem Generator oder Erzeuger), in der zwischen den Polschuhen gedachten neutralen Linie auf den Kommutator.

So sehr auch die Formen des Feldmagneten und des Ankers wechseln mögen, drei Grundgesetze

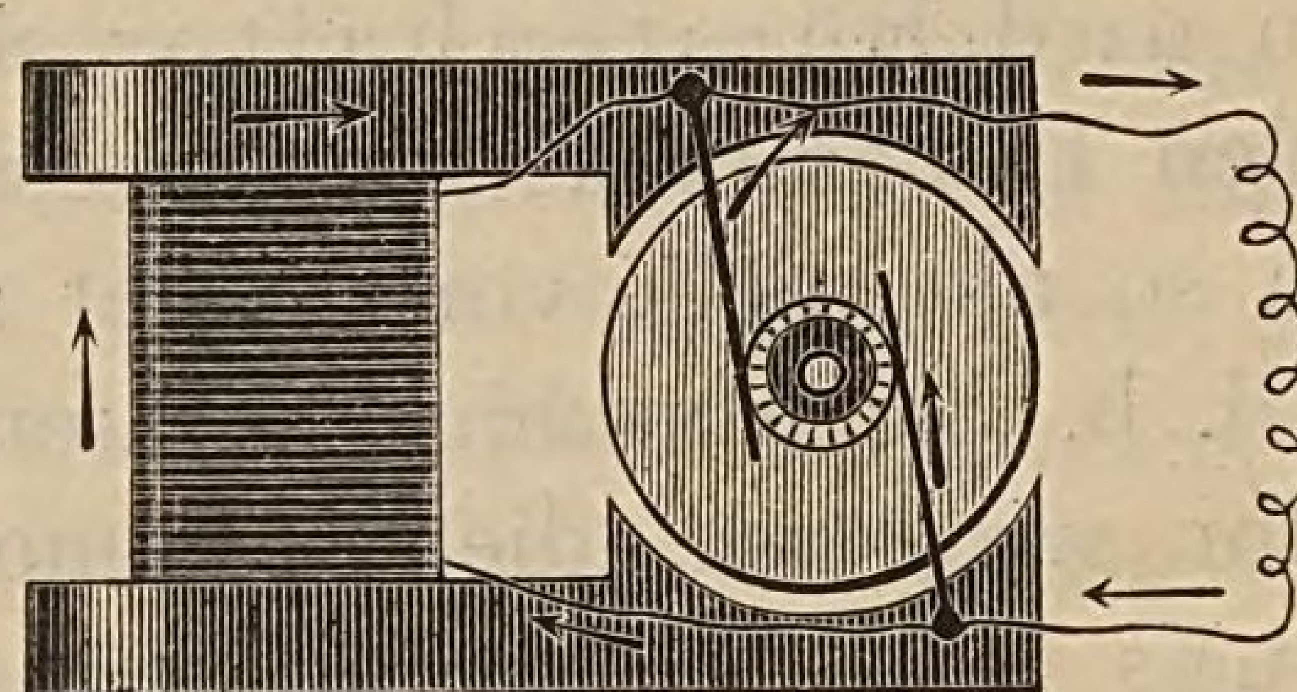


Fig. 315 a. Nebenschlussmotor.

dürfen niemals gebrochen werden: 1) die Eisenmasse und das magnetische Feld des Feldmagneten müssen viel grösser sein, als die des Ankers — in Praxis geben Ankereisengewicht = 1 und Feldmagneteisengewicht = 7 ein gutes Verhältnis; 2) das Pro-

dukt Ampère mal Windungen mal Ankereisenquerschnitt soll kleiner sein als das Produkt Ampère mal Windungen mal Magneteisenquerschnitt (rund 2 : 3) und 3) soll der Anker in dem stärksten Teil des magnetischen Feldes liegen und zwischen den Polschuhen diesem so nahe als möglich rotieren.

Wird ein Generator als Motor gebraucht, so ist bei Hauptschlusswindung die Drehungsrichtung des Ankers die entgegengesetzte (Fig. 303 b) bei Nebenschlusswindung ist sie in jedem Falle die gleiche; bei Verbundwindung, d. h. wenn zweierlei Drähte auf dem Kerne des Feldmagneten liegen, ist die Drehungsrichtung, wenn die Hauptschlusswindung die stärkere, die entgegengesetzte, dagegen die gleiche, wenn der Nebenschluss der stärkere ist. Die hervorgerufene Bewegung eines Motors ist stets eine solche, dass die durch sie hervorgerufene elektrische Induktion den Strom zu hemmen sucht.

Dies ist die Umkehrung des Lenz'schen Gesetzes: der induzierte Strom hat stets eine solche Richtung, dass seine elektromagnetische Wirkung die den Strom erzeugende Bewegung zu hemmen sucht.

Windungen. Für die Drahtwindungszahl und die Drahtdicke eines Motors muss ein bestimmtes Verhältnis vorhanden sein; aber dieses Verhältnis wird sich ändern mit der EMK und der Stärke des Stromes, der den Motor erregt (VIII, Regeln). Als allgemeine Regel gilt: Der elektrische Widerstand des Motors sei gleich dem des Generators (Batterien, Accumulatoren, Dynamomaschinen), der den Strom liefert. Und zum zweiten wird die Leistung am höchsten sein, wenn der Motor so gewunden

ist, dass er, als Generator getrieben um Strom zu erzeugen, bei der von ihm als Motor erlangten Geschwindigkeit dieselbe EMK und denselben Strom liefert, den der Generator ihm als Motor zuführt.

Drahtverhältnisse. Unser Motor soll nun mit einem grossplattigen chromsauren Element von einer EMK von 2 Volt und einem inneren Widerstand von 0,08 Ohm getrieben werden; wie ist er hierzu zu bewickeln?

2 Volt und 0,08 Ohm entsprechen einem Strom von 25 Ampère $\left(x = \frac{2}{0,08}\right)$. Daraus folgt, dass, wenn wir auf dem Anker 1 m Draht für ein Volt annehmen, wofern der Motor als Generator mit einer Winkelgeschwindigkeit von 38 cm in der Sekunde getrieben wird, wir einen Draht von 2 m wirksamer Länge und von solchem Widerstand auf den Anker wickeln müssen, dass sein Widerstand 0,08 Ohm nicht beträchtlich übersteigt. Nun giebt ein Hauptschlussmotor die besten Resultate, wenn der Widerstand der Feldmagnetenrollen den des Ankergewindes nicht oder nur wenig übertrifft; da aber die Masse des Ankers nur $\frac{1}{7}$ von der des Feldmagneten ist, so muss für den Anker ein feinerer Draht gewählt werden als für den Feldmagneten, wofern wir in beiden den gleichen Widerstand erreichen wollen. Der Ankerwiderstand ist für unser Beispiel 0,04 Ohm. In der Widerstandstabelle finden wir, dass 450 g Draht von 1,2 mm Durchmesser 41 m lang sind und einen Widerstand von 0,663 Ohm besitzen; 2 m solchen Drahtes haben somit einen Widerstand von 0,033 Ohm; winden wir etwas über 2 m auf den

Anker, so kommen wir der EMK von 2 Volt und dem Widerstand von 0,04 Ohm sehr nahe.

Was nun den Draht für den Feldmagneten anbetrifft, so hat ein Draht von 1,6 mm Durchmesser und einer Länge von 22 m einen Widerstand von 0,2 Ohm; demnach werden 5 m dieses Drahtes die Forderung nach Widerstand und Zahl der Ampèrewindungen für den Feldmagneten erfüllen.

Aus diesen Angaben können wir aber auch wieder auf die Dimensionen des Ankers und des Feldmagneten zurückschliessen; denn der Anker braucht, welches auch seine Gestalt sein mag, nicht grösser zu sein, als dass er die angegebene Drahtmenge fasst, während die Masse des Feldmagneten die des Ankers 7 mal übertreffen soll.

Bei der Wahl der Stromstärke ist insbesondere noch die während des Stromdurchganges eintretende Erwärmung in Betracht zu ziehen. Draht von 1,2 mm Durchmesser verträgt 3 Ampère und der von 1,6 mm 6 Ampère für 1 mm^2.

Sollen nun 25 Ampère durch unseren Motor gehen, so würde er sich übermässig erhitzen. Da aber der Widerstand des Motors 0,08 und der der Batterie ebenfalls 0,08 Ohm beträgt, so wird der Motor, selbst beim Stillstehen, nur 12,5 Ampère erhalten; beginnt er dann zu arbeiten, so entsteht in ihm eine elektromotorische Gegenkraft, die den Strom so herabbringt, dass er innerhalb der Sicherheitsgrenzen durch die Windungen fliesst. (Siehe Reaktion des Ankers.)

Setzen wir ferner den Fall, wir hätten einen

Motor zu konstruieren, der in einem elektrischen Lichtkreis von 50 Volt und 1 Ampère laufen, d. h. als Generator getrieben, einen Strom von 50 Volt und 1 Ampère liefern soll (Vergl. Gramme-Maschine, Berechnung). Um diese Spannung (Voltzahl) zu erlangen, müssen wir über 50 m Draht auf den Anker wickeln; 230 g von 0,55 mm Durchmesser werden dieser Forderung entsprechen. Um aber dem Stromkreis nicht zu viel Strom zu entziehen, giebt man dem Feldmagneten einen etwas höheren Widerstand und windet 2,5 kg von derselben Dicke von 0,55 mm für den Hauptschluss auf. Wir haben nun auf Anker und Feldmagnet 2,5 kg Draht von 49,5 Ohm Widerstand und einer möglichen EMK von 50 Volt und einer Leistung von etwa $\frac{1}{12}$ PS.

Ein zweiter Motor für Nähmaschinen Fig. 315b bis 315k ($^1/_8$ bis $^1/_{10}$ PS). Das magnetische Feld wird aus einem Doppelhufeisen aus Weichguss gebildet. Man fertigt das Modell nur für die Hälfte, da beide Teile vollkommen gleich sind; sie werden durch versenkte Schrauben von 5 mm Dicke zusammengehalten, nachdem die Berührungsflächen wohl eben gefeilt worden sind. Ausgebohrt wird erst, wenn der Anker fertig gestellt ist. Die Wellenträger Fig. 315d (Vorderansicht) und 315e u. 315f (Oberansicht) bestehen wieder aus Messingguss; hier wird die Bohrung für die Welle zuerst ausgedreht und dann erst der Wellzapfen. Bewickelt wird der Feldmagnet für Chromsäure-Elemente, mit doppelt umsponnenem Draht von 1,2 mm Dicke (blank) in 5 Lagen nach Fig. 296a, damit die Pole in die Mitte kommen. An den einen Polschuh ist eine

Holzplatte aufgeschraubt Fig. 315 h, die das fertige Eisengerippe samt nicht bewickeltem Anker und Lagern zeigt. Das eine Ende der Magnetbewickelung wird an die eine Polklemme der Holzplatte geführt, das andere Ende zu einer Klemme des Bürstenhalters, dessen zweite Klemme mit der andern Polklemme verbunden ist. Der Motor ist somit ein Hauptschlussmotor. Da nach den früheren Anleitungen die Konstruktionen des Feldmagneten, der Lager, der Welle, des Kommutators (Fig. 293) und des Bürstenhalters (Fig. 270 k, 294 und 295) ausführbar sein werden, so wenden wir uns dem Anker zu.

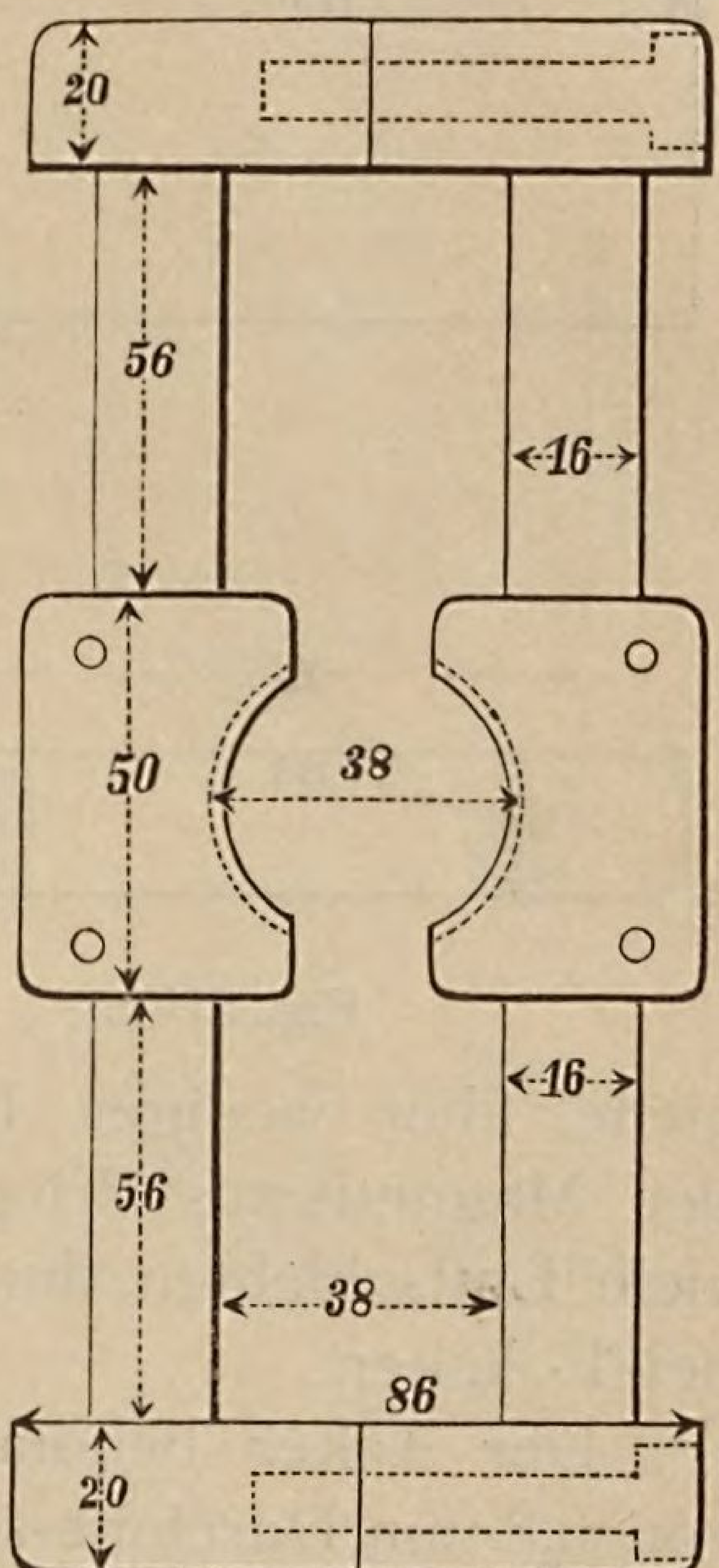


Fig. 315 b.

Der Anker ist in Fig. 315 g als Trommel gezeichnet. Das Wellstück AB trägt zwei dicke Eisenscheiben (7 mm), wovon A mit Schraube versehen ist und durch 2 eingebohrte Löcher (wie beim Zirkel) angezogen werden kann. Dieses Wellstück wird mit gutem Papier oder Seide und Schellacklösung isoliert, dann werden weiche, von Glühspan befreite, abgedrehte oder gestanzte und am Rande geglättete Eisenscheiben von 0,5 mm Dicke aufgeschoben und zwischen je zwei eine geölte oder

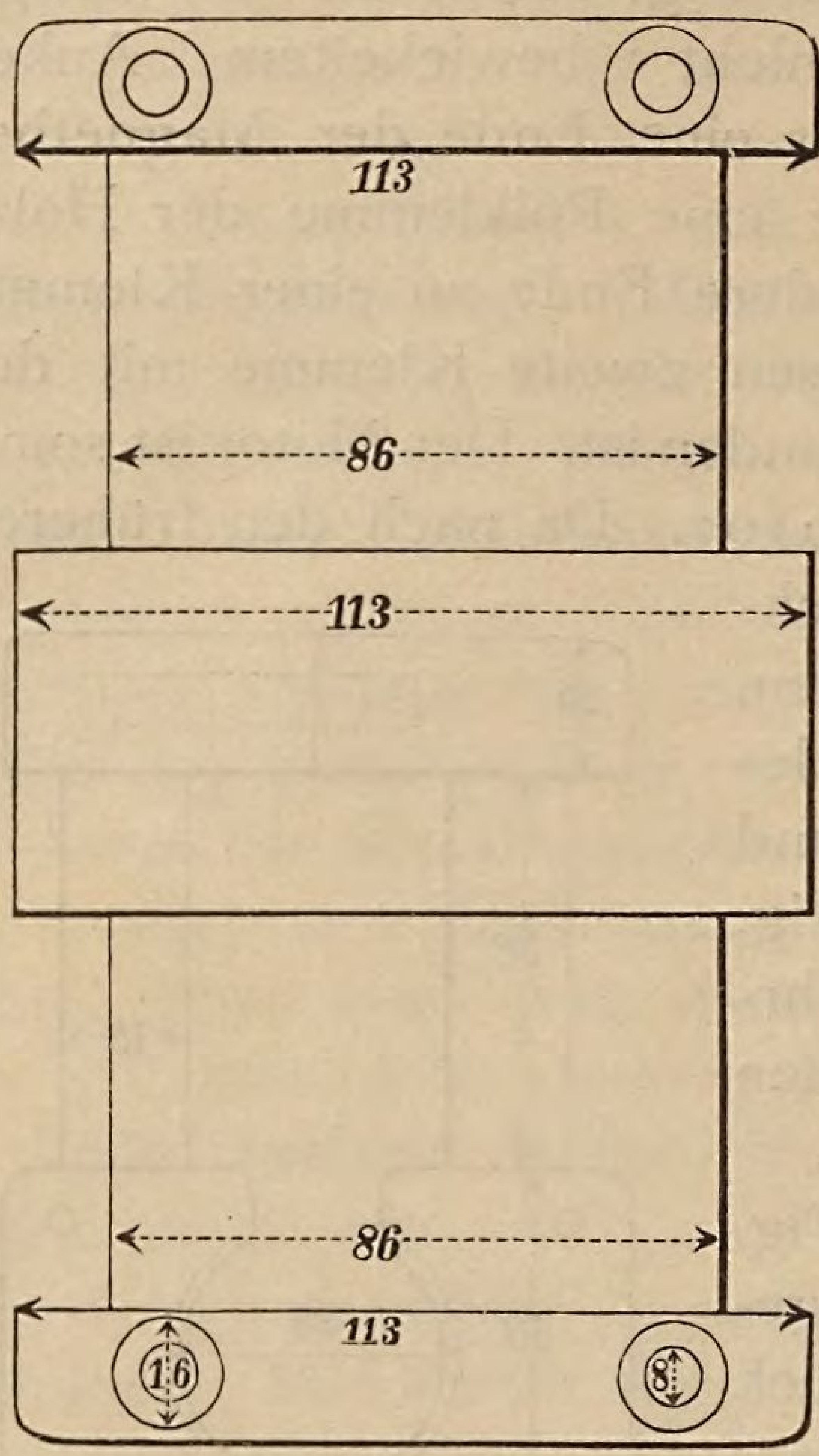


Fig. 315 c.

paraffinierte Papierscheibe von 0,15 mm Dicke gelegt. Nimmt man die Endscheiben 7 mm dick, so bleiben noch 100 mm auszufüllen; 0,5 + 0,15 = 0,65; 100 : 0,65 = 153 Scheiben. Die Scheiben sollen möglichst glatt sein, dennoch legen sie sich nicht vollkommen dichtaneinander, man wird also eine kleinere Anzahl brauchen. Man könnte denRaum zwischen den Endscheiben auch mit asphaltiertem Eisendraht ausfüllen, erhielte aber weniger Eisen als mit Scheiben und der Magnetismus dringt weniger tief ein, weil er viele Luftschichten durchsetzen muss. Vergl. Doppel-T-Anker.

Der Anker bekommt 12 Spulen eines Drahtes von 0,8 mm Durchmesser (blank), von 1,3 mm Dicke samt Umspinnung (vergl. Querschnitt des blanken und umhüllten Drahtes); jede Spule erhält 2 Lagen. Der Umfang des Ankers beträgt 32 . 3,14 = 100 mm, somit können 100 : 1,3 = 75 Drähte nebeneinander gelegt werden; es kommen also auf eine Lage einer

Spule 6 Drähte. Fig. 315 i zeigt diese 12 Spulen samt den Stromläufen, wenn jede Spule nur aus einer Windung besteht. Spule 1 schliesst an den Kommutatorstab 1 an, verläuft längs des Cylinders, biegt

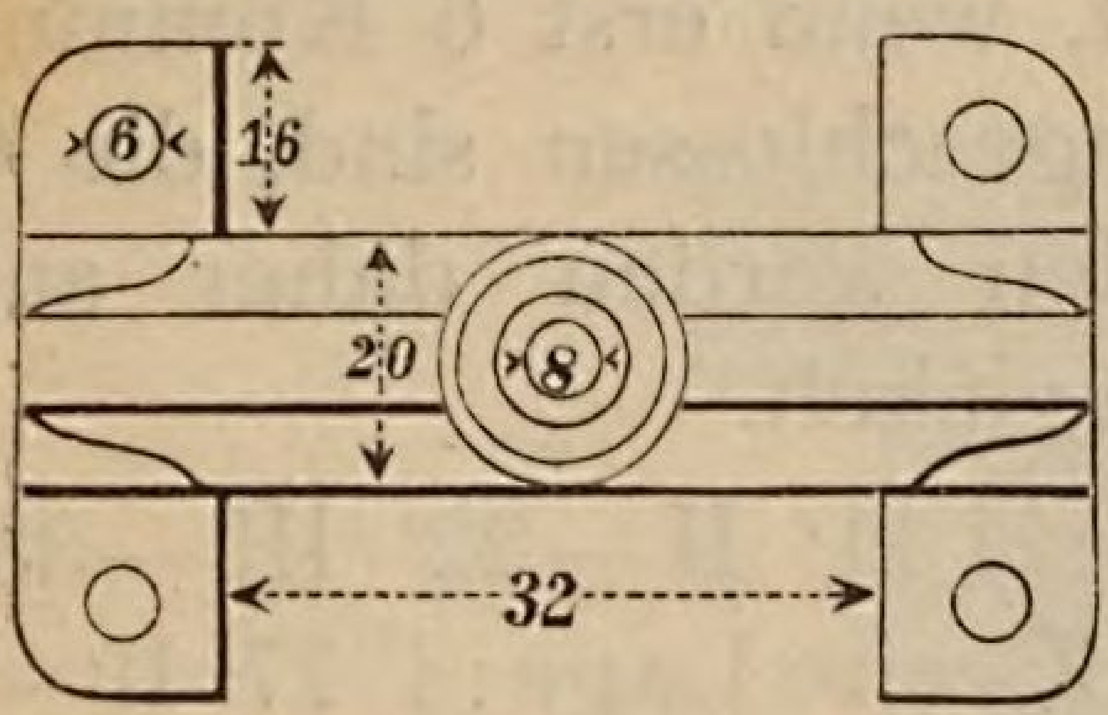


Fig. 315 d.

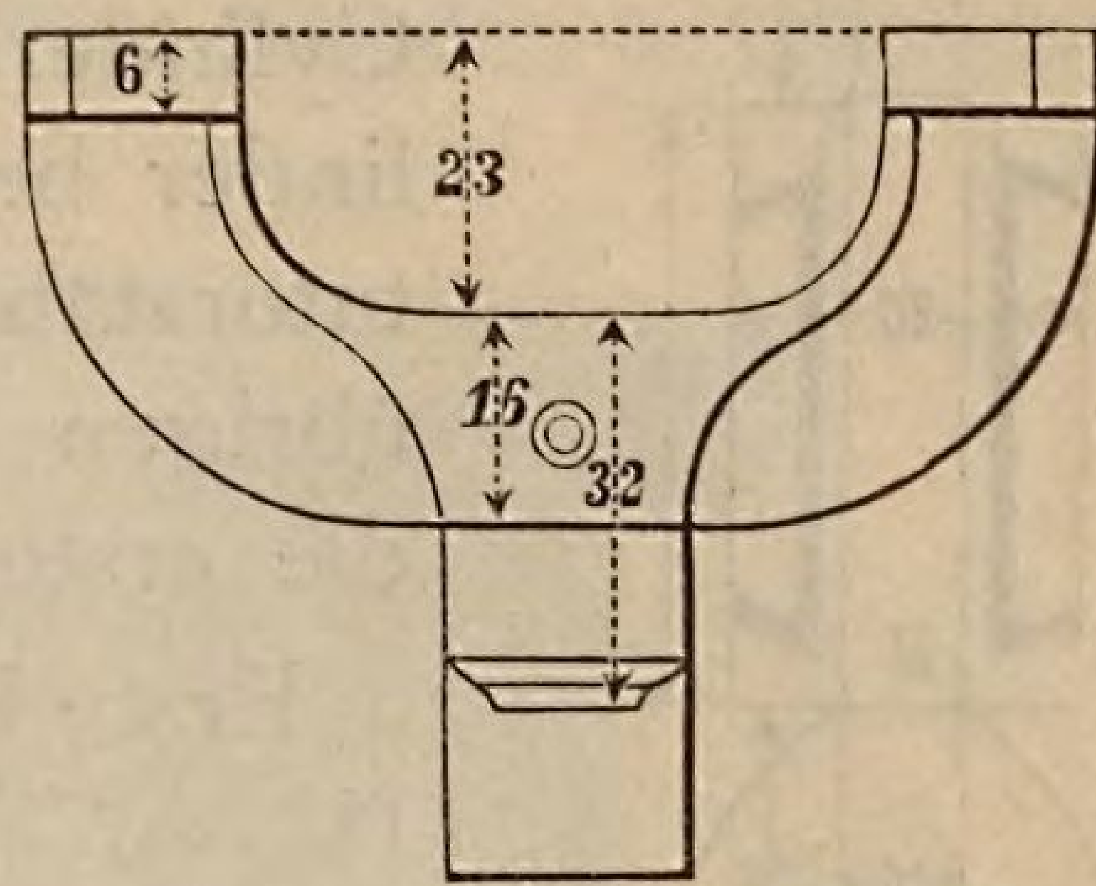


Fig. 315 e.

um die hintere Stirnseite um, wird auf der entgegengesetzten Cylinderlinie nach links gezogen und mit Kommutatorstab 2 verbunden. Fig. 315k deutet an, wie eine Spule mit 6 Windungen aufgewickelt wird. In

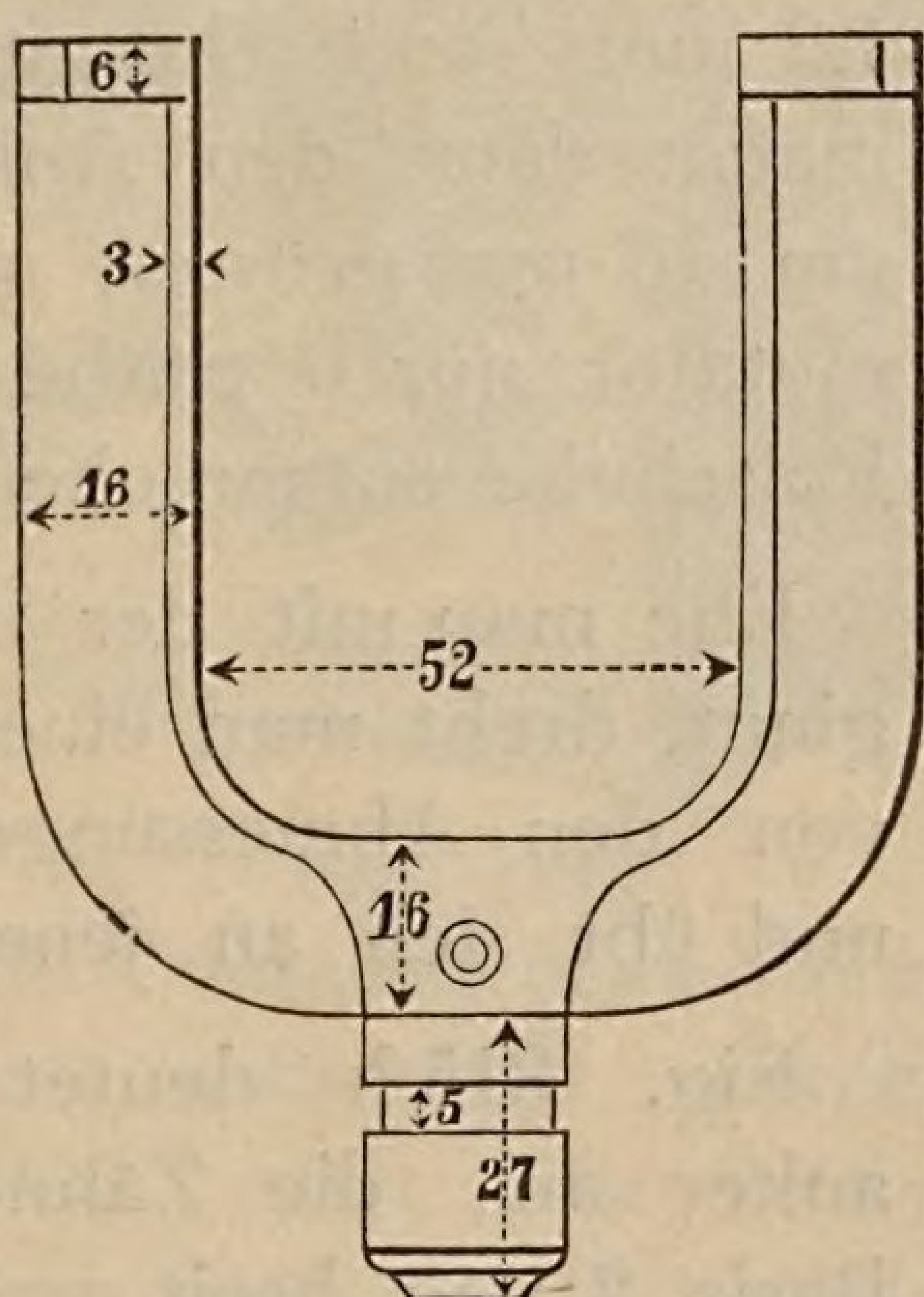


Fig. 315 f.

die Endscheiben macht man 1 mm breite Einschnitte und schiebt in diese Messingstreifen, welche so

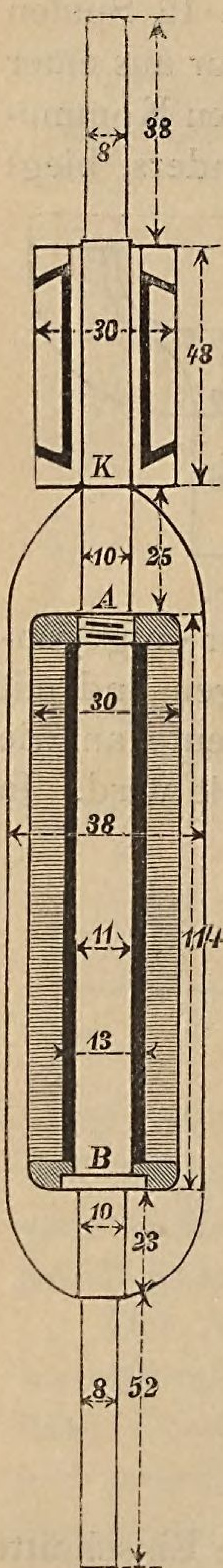


Fig. 315 g.

eingeschlagen sind, dass sie den Wickelungsraum genau abgrenzen. Die Drähte werden auf beiden Seiten der Welle verteilt. Da eine Schleife zwei Cylinderlinien einnimmt, so ist der Cylinder besetzt, wenn erst 6 Kommutatorstäbe angeschlossen sind, die 6 übrigen Spulen werden daher auf die ersten gewickelt.

Erste Lage: I 11′ II — 22′ III — 33′ IV — 55′ VI. Zweite Lage: I′ 77′ II′ — 22′ III′ — 99′ IV′ 1010′ V′ — 11′ 11′ VI′. Fig. 315 i k l und Fig. 302 a.

Hat man grossplattige Elemente oder Accumulatoren zur Verfügung, so wählt man den Draht dicker, etwa 1,2 mm, samt Umspinnung 1,8 mm, macht dann den Ankerdurchmesser um 10 mm grösser, giebt dem Kommutator nur 6 Stäbe und bohrt die Polschuhe entsprechend weiter.

Ehe man mit der Bewicklung beginnt, dreht man einen Holzcylinder von den Abmessungen des Ankers und übt sich an jenem mit Schnur.

Fig. 315 h deutet einen Zahnanker an, die Zähne sind an der Basis 2 mm breit, und, den Lagendicken entsprechend, 3 mm tief; in jeden der 6 Ausschnitte legt man zwei Spulen nebeneinander. Die Zähne

werden mit der Feile abgerundet und mit schellackierter Seide bedeckt.

Der fertige Anker wird an 3 Stellen mit hartgezogenem Messingdraht über Seiden- oder Glimmerstreifen fest umwickelt und diese Bänder werden dann verlötet.

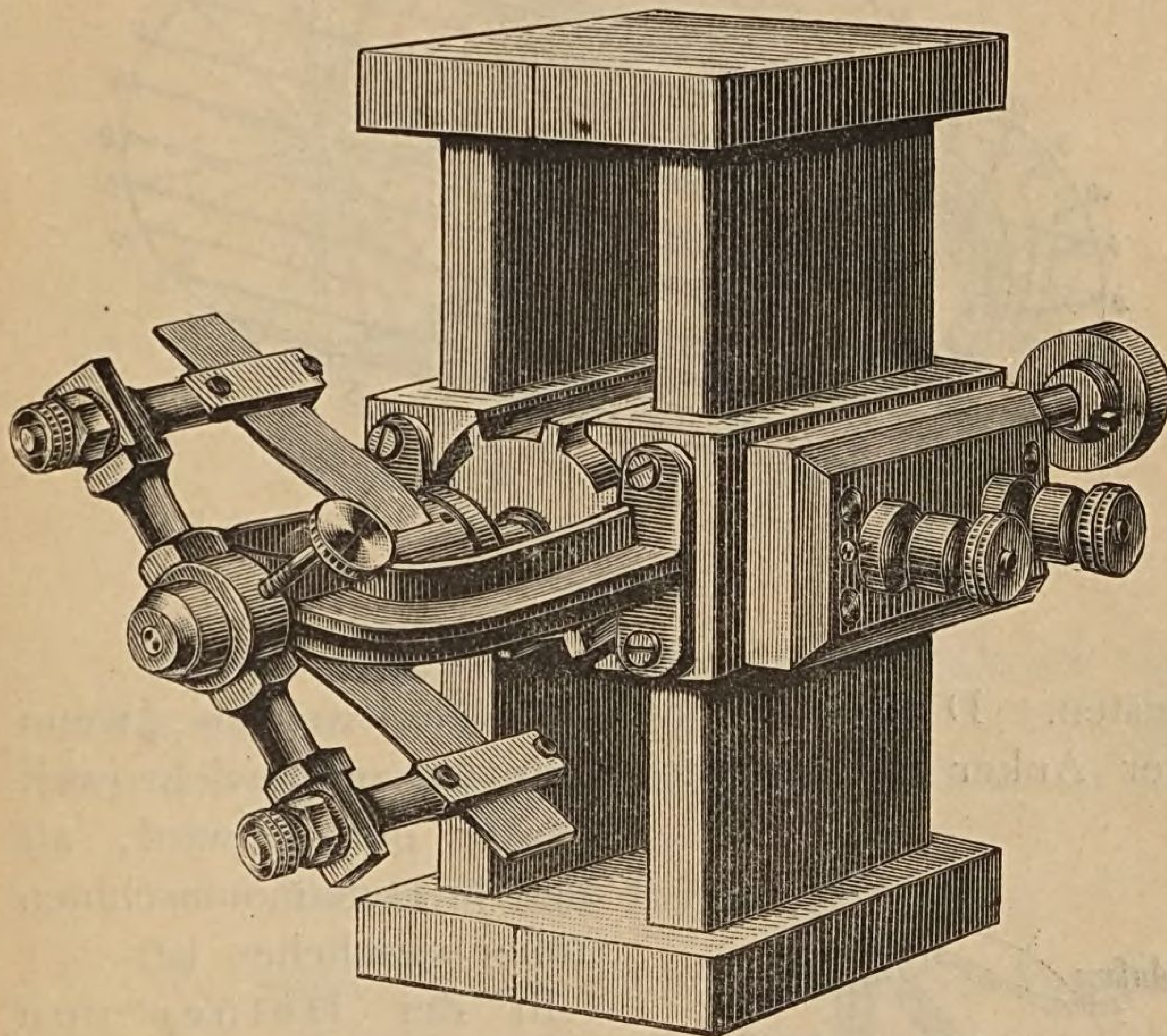


Fig.: 315h.

Motor und Dynamomaschine. Eine Dynamomaschine lässt sich zwar umkehren, d. h. als Motor verwenden; aber eine wirksame Dynamomaschine wird gewöhnlich nicht zugleich ein leistungsfähiger Motor sein. Die Dynamomaschine hat ein mächtiges, magnetisches Feld, dagegen einen schwachen Anker, somit liegen ihre magnetischen

Momente möglichst weit auseinander. Bei einem Motor sollten aber beide magnetische Momente gleich sein, denn beide müssen gleiche Arbeit

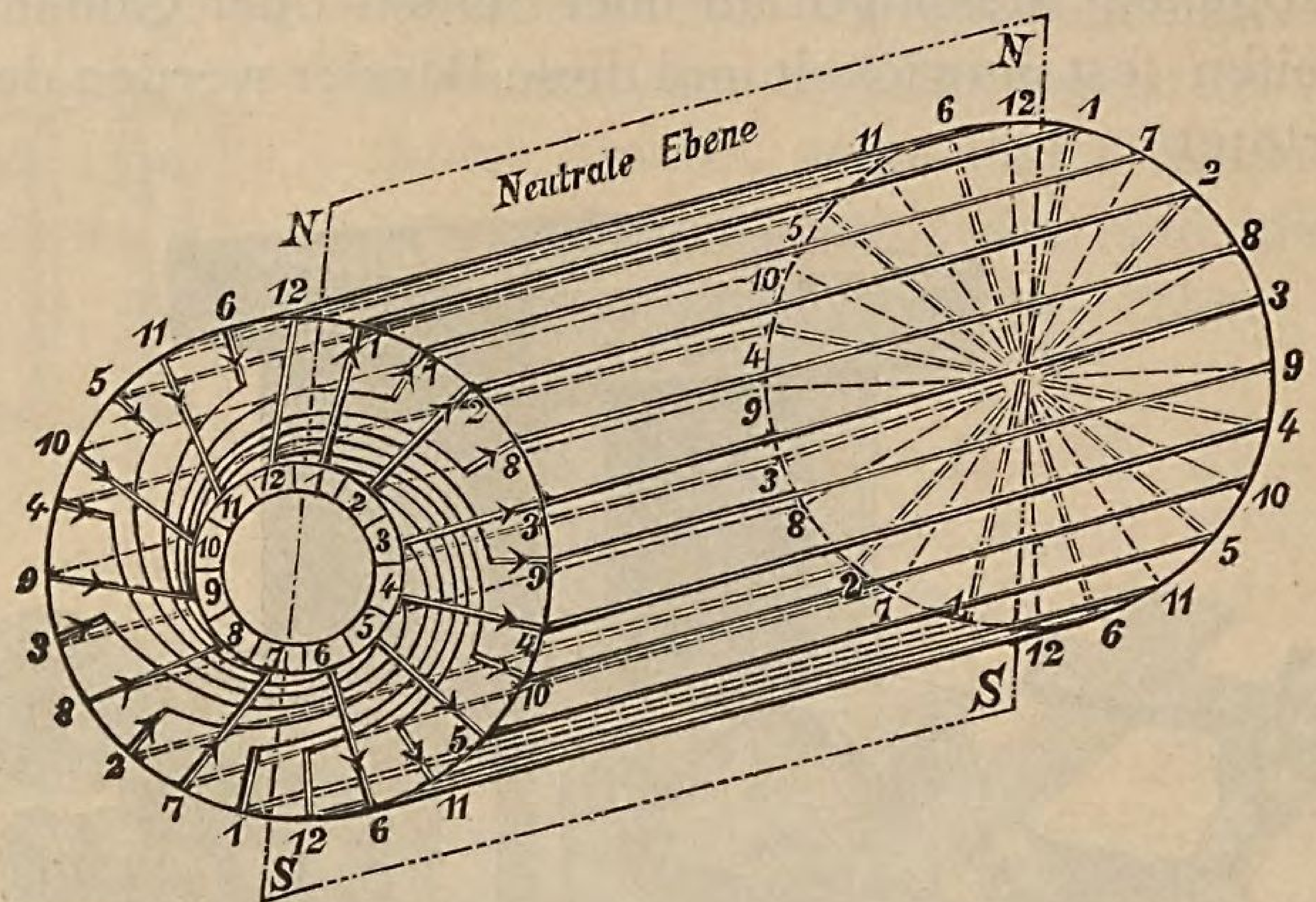


Fig.: 315 i.

leisten. Dies kann nur erreicht werden, wenn der Anker im Verhältnis zum Gesamtgewicht weit stärker gebaut wird, als dies für Dynamomaschinen früher geschehen ist.

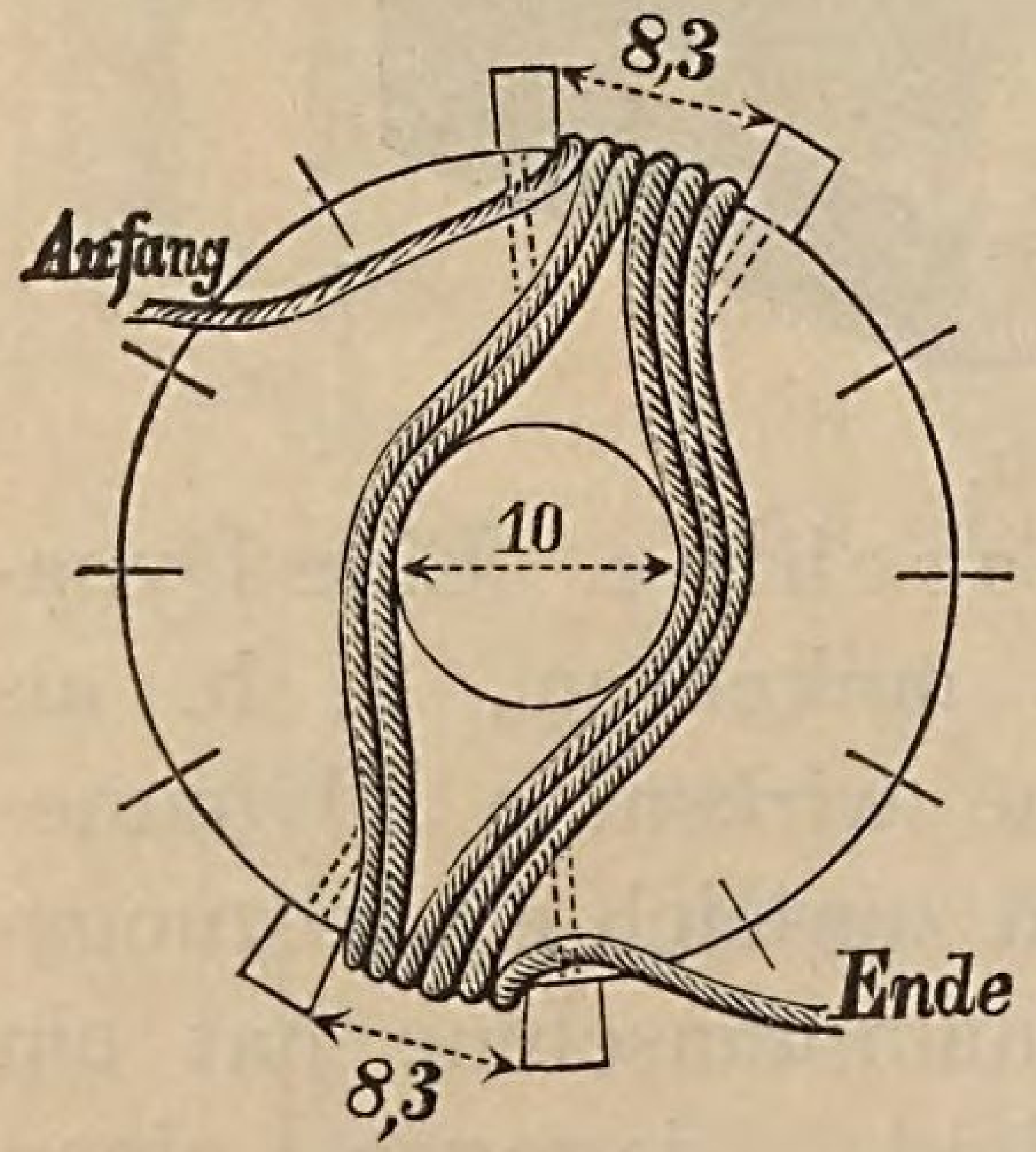


Fig. 315 k.

In der Hefner von Alteneck'schen Wickelung Fig. 315 i werden die Spulen von der ersten an immer länger, daher hat Edison den Kommutator um 90° gedreht, und die Drähte nach Fig. 315 l mit den Stäben verbunden,

worin die mit einem Index versehenen Zahlen die Enden der Spulen bedeuten. Die Bürstenstellung auf dem Kommutator ist durch + und — angezeigt.

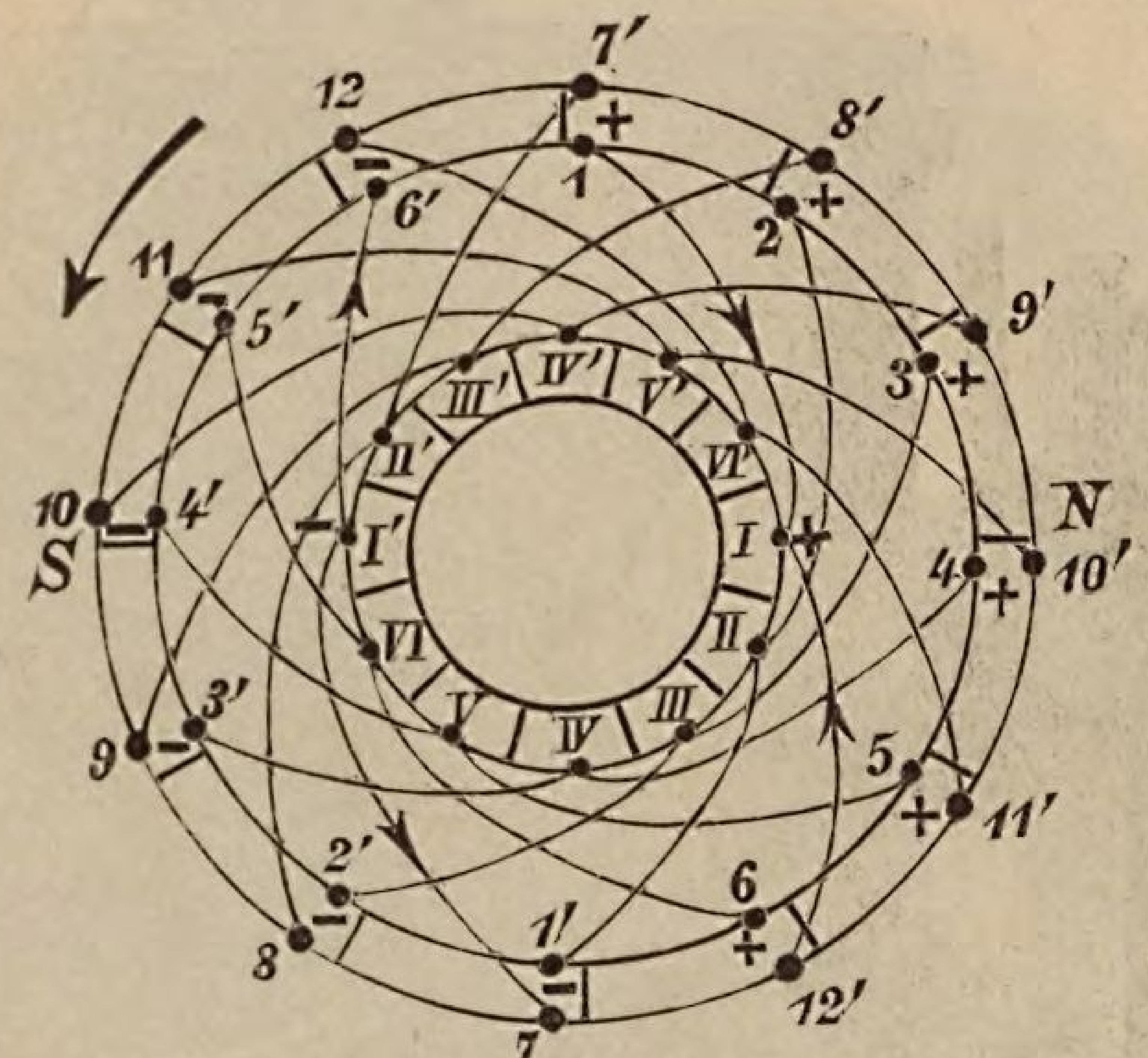


Fig. 3151.

Ein solcher Motor lässt sich auch sonst noch vielfach verwenden: als Ventilator, in der Akustik (Sirenen), in der Zahnkunst (Ausbohren der Zähne) u. s. w.

Dynamo- und Triebmaschine.

Wer einen Apparat, ein Instrument, eine Maschine gründlich verstehen oder gar bauen will, muss ähnliche gesehen oder doch wenigstens in guten Abbildungen studiert haben, darum folgt noch die Illustration einer Dynamomaschine, die auch als Elektromotor verwendet und in verschiedenen Grössen ausgeführt wird. Fig. 315 m. Da das Bild sehr übersichtlich gehalten ist, so dürfte nur noch zu bemerken sein, dass die den Strom von den Bürsten abnehmenden Kabel isoliert durch die hohlgegossene Grundplatte ge-

zogen sind, auf der Rückseite aufsteigen und zu den Polklemmen geführt sind, von denen ein Teil des Stromes (etwa 5 %) in die Feldmagnete von der

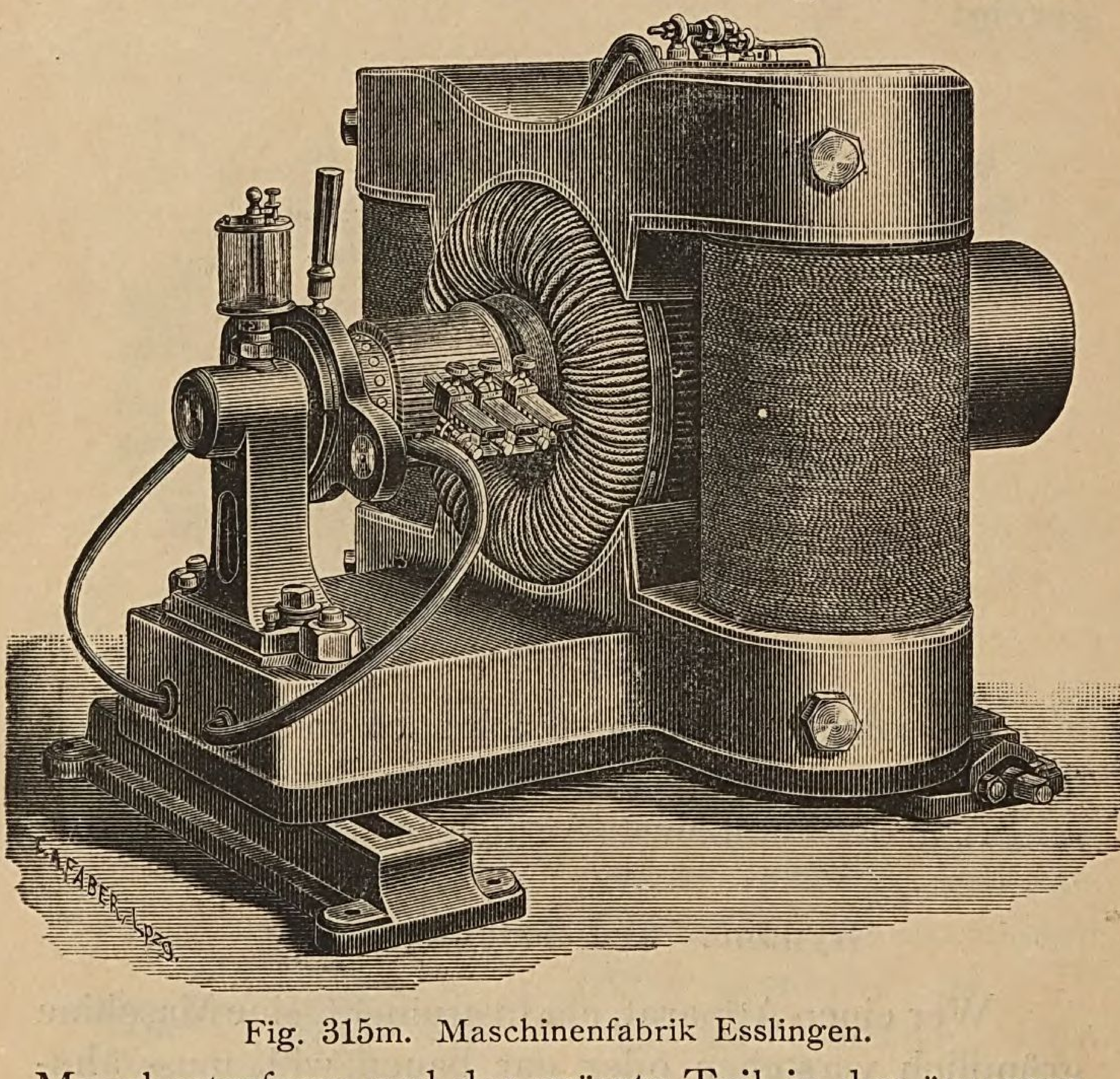


Fig. 315m. Maschinenfabrik Esslingen.

Manchesterform und der grösste Teil in den äusseren Stromkreis zur Beleuchtung und Kraftübertragung fliesst.

Eine vielpolige Gleichstrom-Maschine.

Fig. 315e. Die Feldmagnete sind Strahlen des gusseisernen Radkranzes, deren innere Enden kreisförmig ausgedreht sind; zwischen diesen erweiterten Enden (Polschuhen) rotiert der in Gramme-Art be-

wickelte Anker; auf dem Kommutator schleifen so viele Bürsten, als Magnetpole vorhanden sind. Die ganze Maschine ist auf der Grundplatte verschiebbar,

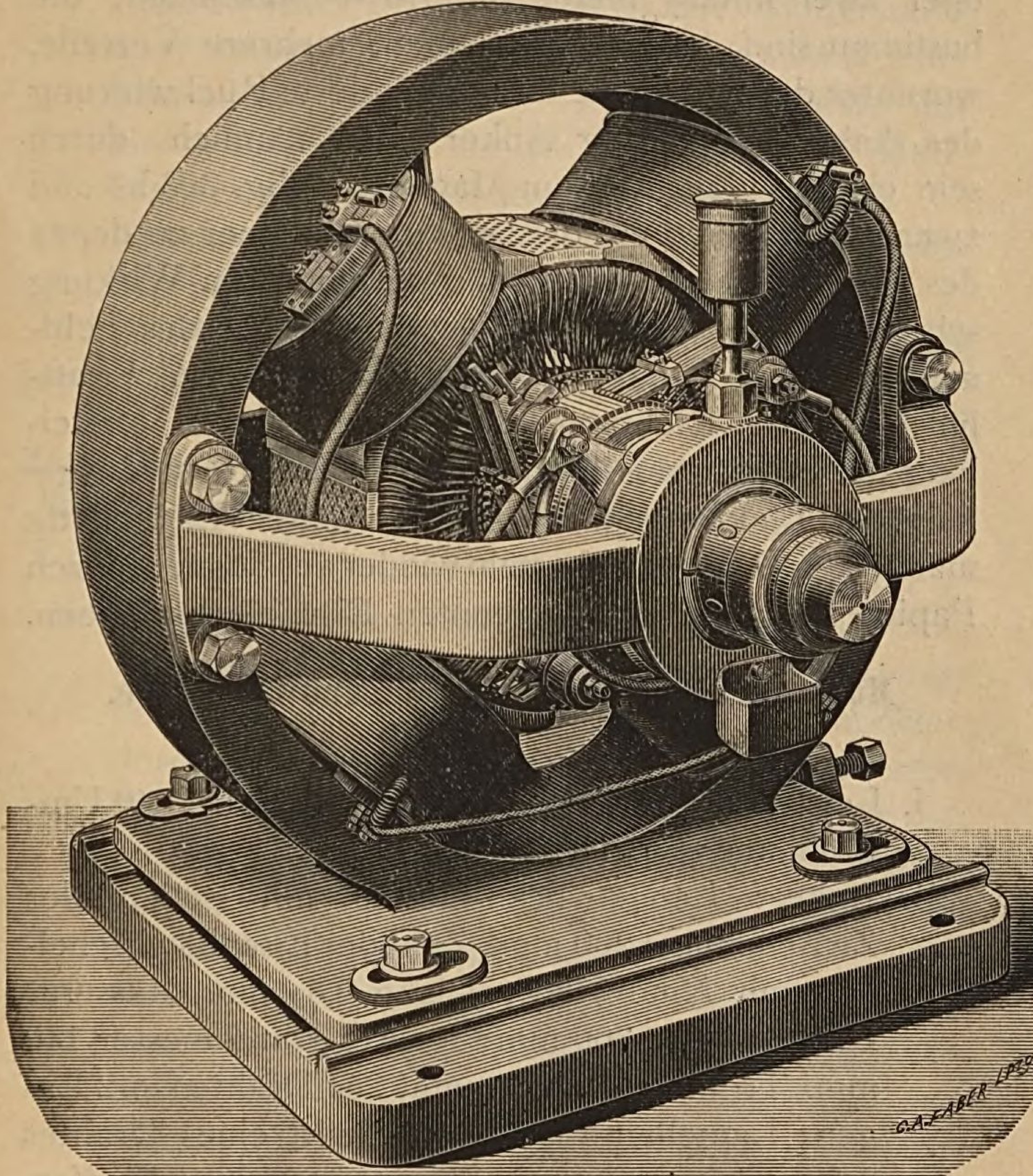


Fig. 315 n.

so dass der Riemen gespannt werden kann, wie dies auch aus Fig. 315 a ersichtbar ist. In ähnlicher Weise

könnten auch in Fig. 293 die Achsenlager an den Elektromagneten angeschraubt werden; vergleiche Fig. 307 und 308. Die Vermehrung der Polzahl über zwei hinaus bietet für grosse Maschinen, die bestimmt sind, langsam zu laufen, mehrere Vorteile, worunter der wichtigste die verminderte Rückwirkung des Ankers ist. Der Anker wird nämlich durch sein eigenes Gewinde zum Magneten (Fig. 303 b) und zwar so, dass die Pole dieses Magneten quer zu denen des Feldmagneten stehen und darum deren Wirkung schwächen, d. h. die zwischen den Polen des Feldmagneten durch das Ankereisen verlaufenden Kraftlinien aus ihrer Richtung ablenken und so eine Verstellung der Bürsten aus ihren neutralen, zur Verbindungslinie der Elektromagnetpole senkrechten Lage nötig machen. — Der Anker besteht wieder aus dünnen, durch Papier von einander getrennten Eisenblechscheiben.

Maassangaben über eine Vierpolmaschine.

Fig. 315 n.

I. Leistung: 120 Volt und 150 Ampère bei 840 Umdrehungen in der Minute.

II. Anker: Länge des Kernes mit isolierender Zwischenlage 200 mm; Zahl der Eisenblechscheiben (mit Nuten) 206, Dicke 0,5 mm. Äusserer Durchmesser 300 mm; innerer Durchmesser 140 mm. Trommelwicklung mit 254 Drähten in 2 Lagen; Lamellen 127. Querschnitt eines Drahtes $3{,}4 \times 4{,}5$ mm², nahezu rechteckig; Kupfergewicht ca. 16 kg; Widerstand bewickelt und warm 0,036 Ω. Länge eines Drahtes 0,5 m. Durchmesser des Kommutators 250 mm.

III. Magnete: Pole à 200 $\times$ 150 mm^2 Querschnitt und in der Mitte 150 mm lang. Nebenschlusswickelung: je Spule mit 760 Windungen; mittlere Länge einer Windung 0,79 m; Widerstand aller Spulen 21,7 Ω, dazu sind noch 3,44 Ω vorgeschaltet; Drahtdicke 1,72 mm blank, mit Hülle 2,32 mm. Breite des 8eckigen Radkranzes 215 mm, Dicke desselben 75 mm;

IV. Riemenscheibe: Durchmesser 300 mm; Breite 280 mm. Lager 3. Riemen 250 mm breit.

V. Antriebskraft: 17 PS. Vierpolmaschinen werden gebaut bis zu 280000 V-A oder Watt.

Maassangabe über eine ½ pferdige Dynamo- und Triebmaschine in Manchesterform. (Fig. 315 m.)

I. Umdrehungen in der Minute 2500 bis 2600.

II. Magnet: Kern kreisförmig, Schmiedeeisen, Durchmesser 57 mm, Länge 102 mm; Entfernung der Mitten der Kerne 254 mm. Schraubenbolzen durch Joche und Kerne 12 mm Durchmesser, 260 mm lang ohne die Schraubenmutter. Joche: Dicke über dem Kern 67 mm, in der Mitte 23 mm, Gusseisen; Breite nach der Welle 80 mm; Bohrung 133,4 mm.

III. Ankerring. Welle: Stahl, mittlerer Teil 22,5 mm dick und 77 mm lang; Kommutatorteil 19 mm dick; Lagerteil 16 mm dick; von Lagermitte zu Lagermitte 276 mm. Bleche: äusserer Durchmesser 120,6 mm, innerer Durchmesser 76 mm, Dicke aller Scheiben samt Isolation 79,4 mm; Dicke samt Endscheiben 92 mm; Endscheiben aus Schmiedeeisen. Die

Bleche sind auf einen Vierstrahl geschoben. Abteilungen 32.

IV. Riemenscheibe: Durchmesser in der Mitte 105 mm, am Rand 102 mm, Breite 42 mm.

V. Kommutator: 32 Lamellen; jede Lamelle 46 mm lang und 10,3 mm breit.

VI. Bürsten für Dynamo aus Kupfer, für Motor aus Kohle.

VII. Drahtverhältnisse: Die Ankerdrähte werden um 4 bis 5 Lamellen von derjenigen befestigt, die der Abteilung am nächsten ist; der Bürstenhebel steht dann eher horizontal.

1. Ankerbewickelung:
 a. für 110 Volt, 1,4 kg; 0,8 mm Durchmesser; Windungen pro Lage 10; Lagen 3.
 b. für 50 Volt: Draht 1,2 mm Durchmesser blank, doppelt mit Baumwolle bewickelt; 2 Lagen; 7 Windungen in jeder Lage pro Abteilung; ca 1,4 kg; eine Spule hat etwa 4,3 m Länge.
2. Magnetbewickelung für 110 Volt (ca. 2000 Ampère-Windungen):
 a. für Hauptschluss: 2,6 kg; 1,8 oder 1,9 mm Durchmesser; 12 Lagen in der Spule; 45 Windungen pro Lage.
 b. für Nebenschluss: 1,5 kg; 0,5 mm Durchmesser blank; 150 Windungen pro Lage; 28 Lagen.
 c. für Doppelschluss:
 α. für den Nebenschluss: 1,5 kg; 0,5 mm Durchmesser blank; 150 Windungen pro Lage; 28 Lagen;

β. für den Hauptschluss: 850 g; 1,7 mm Durchmesser blank; 47 Windungen; 4 Lagen.

3. Magnetbewickelung für 50 Volt (ca. 2000 Ampèrewindungen);
 a. für Hauptschluss: ca. 2,8 kg; 2,6 mm Durchmesser; 33 Windungen pro Lage; 9 Lagen (für jede Spule).
 b. für Nebenschluss: 2,6 kg; 0,8 mm Durchmesser; 104 Windungen pro Lage; 28 Lagen.
 c. für Doppelschluss:
 α. Nebenschluss: 1,53 kg; 0,7 mm Durchmesser; 117 Windungen pro Lage; 22 Lagen;
 β. Hauptschluss: 690 g; 1,8 mm Durchmesser, 45 Windungen pro Lage; 3 Lagen.

Als Motor mit 110 V gebraucht, werden dem Anker beim Anlauf 15 Ohm Widerstand vorgeschaltet.

Bleisicherungen von 4 Ampère bei 110 Volt, von 10 Amp. bei 50 V. Gewicht der fertigen Maschine ungefähr 36,4 kg. Auf die PS rechnet man 10 Normalglühlampen, d. h. 16 kerzige.

Aufgaben. 1. Eine Hauptschlussmaschine hat einen inneren Widerstand von 0,08 Ohm und eine EMK von 65 Volt. Welche Stromstärke kann sie bei kurzem Schluss, d. h. bei Verbindung der Polklemmen durch ein Kabel erzeugen?

$$J = \frac{E}{R} = \frac{65}{0{,}08} = 812{,}5 \text{ Amp.}$$

Betrüge der innere Widerstand 0,8 Ohm, so wäre

$$J_1 = \frac{65}{0,8} = 81,125 \text{ Amp.}$$

2. Eine Hauptschlussmaschine wird mit 5 PS angetrieben und liefert 40 Amp. und 70 Volt an den Polklemmen. Wie viel % beträgt ihre Leistung oder was ist ihr Güteverhältnis?

736 V-A entsprechen 1 PS;

$$40 \cdot 70 \text{ V-A entsprechen } \frac{1 \cdot 40 \cdot 70}{736} = 3,94 \text{ PS.}$$

5 PS werden aufgewendet und 3,94 gewonnen, daher

$$5 : 3,94 = 100 : X; \quad X = 78,8\,\%.$$

3. Eine Maschine, die zur Beleuchtung dienen soll, hat eine Spannung von 780 Volt, einen inneren Widerstand von 9,8 Ohm und arbeitet in einem äussern Widerstand von 65 Ohm. Wie stark ist ihr Strom?

$$J = \frac{780}{9,8 + 60} = 10,428 \text{ Amp.}$$

4. Bei einem äusseren Widerstand von 150 Ohm giebt eine Dynamo einen Strom von 0,5 Amp. bei 120 Volt Spannung. Wie gross ist ihr innerer Widerstand?

$$0,5\,(150 + Ri) = 120; \; Ri = 45 \text{ Ohm.}$$

5. Wie gross ist der Widerstand der Magnetwickelung einer Nebenschlussmaschine, wenn der Magnetstrom zu 4 Amp. und die Betriebsspannung zu 100 V angenommen werden?

$$R = \frac{E}{J} = \frac{100}{4} = 25\,\Omega.$$

6. Eine Nebenschlussmaschine besitzt einen Ankerwiderstand $R_a = 0,06$ Ohm und einen Schenkelwiderstand $R_m = 44$ Ohm; sie liefert eine Klemmenspannung $E = 110$ V. Welches sind ihre Strom-

verhältnisse, wenn der Widerstand des äusseren Stromkreises R_s = 2,2 Ohm beträgt?

In den äusseren Stromkreis fliessen

$$J_s = \frac{e}{R_s} = \frac{110}{2,2} = 50 \text{ Ampère},$$

in die Magnetwickelung

$$J_m = \frac{e}{R_m} = \frac{110}{44} = 2,5 \text{ Ampère},$$

demnach liefert der Anker den Strom

$$J_a = J_s + J_m = 50 + 2,5 = 52,5 \text{ Ampère}.$$

Derselbe verursacht im Anker einen Spannungsverlust

$$e_a = J_a \cdot R_a = 52,5 \cdot 0,06 = 3,14 \text{ Volt},$$

also beträgt die EMK des Ankers

$$E_a = E + e_a = 110 + 3,15 = 113,15 \text{ Volt}.$$

Ein Apparat für Phasenströme. 1891.*)

I. Beschreibung des Apparates. Dieser Apparat besteht aus 3 Hauptteilen: zwei galvanischen Elementen (Tauchelemente), einem Stromwender und zwei gekreuzten Elektromagneten.

Der Stromwender besteht aus zwei einzelnen Stromwendern, die auf derselben Welle angebracht, aber doch von einander getrennt sind. (Fig. 112 u. 316.)

Wir kehren zu dem schon beschriebenen Stromwender zurück. Tritt der Strom bei 1 ein, (von dem Kupfer- oder Kohlenpol eines Elementes), so kreist er über Polklemme 4 nach

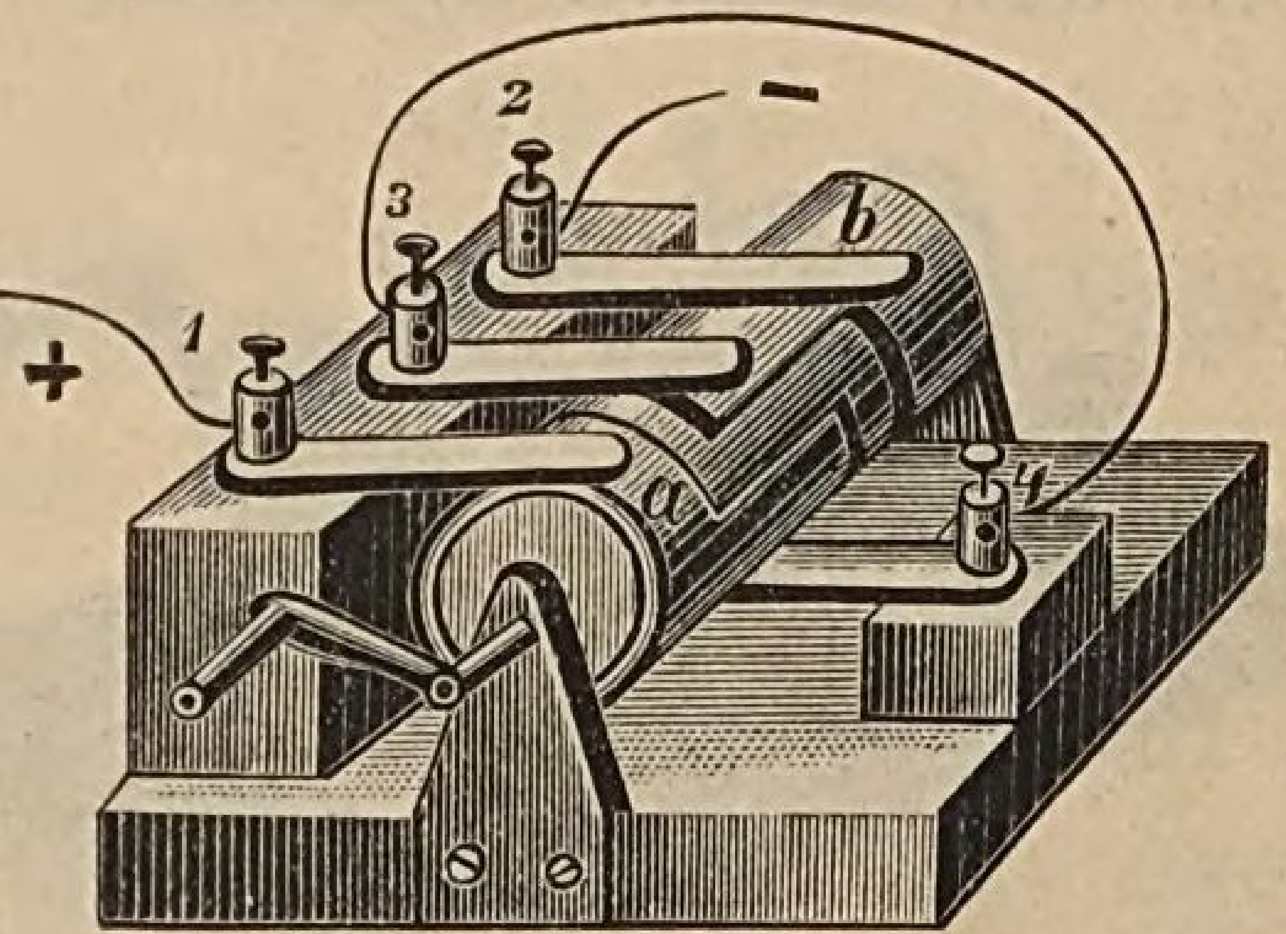


Fig. 316.

*) Näheres in des Verfassers „Dynamomaschine". Faber: Magdeburg, 1897.

3; wird nun die Kurbel um eine halbe Wendung gedreht, so fliesst der Strom von 1 aus auf dem Kupfer- oder Messinglappen von a über die Schleiffeder nach 3 und von da nach 4, also in umgekehrter Richtung.

Ströme, die ihre Richtung beständig umkehren, heissen Wechselströme. Siehe Induktion.

In der Figur 317 ist nun dieser Stromwender (Fig. 316) doppelt dargestellt; aber so dass a' gegen a und b' gegen b um eine Viertelwendung oder um 90° versetzt sind. Und dies ist das Eigentümliche am

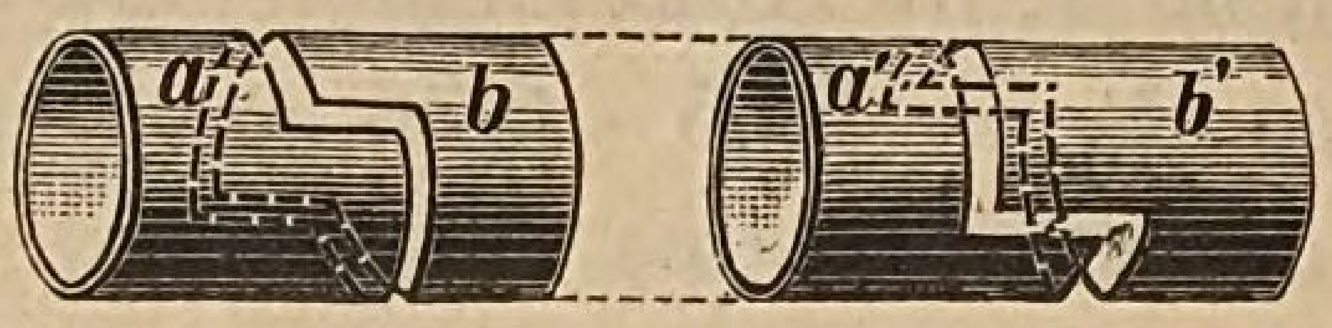


Fig. 317.

Doppelkommutator des Verfassers. Fig. 318 zeigt den vollständigen Apparat. Man sieht, dass die Polklemmen 5, 6, 7 und 8 samt Schleiffedern nur eine Wiederholung von 1, 2, 3 und 4 sind; aber die Walzenringe samt Lappen sind versetzt. Sind in 1 und 2 die Pole eines Elementes eingesetzt und ebenso in 5 und 6, so erhält man beim Drehen der Kurbel zwei Wechselströme, den einen zwischen 3 und 4 und den andern zwischen 7 und 8. (Fig. 318.)

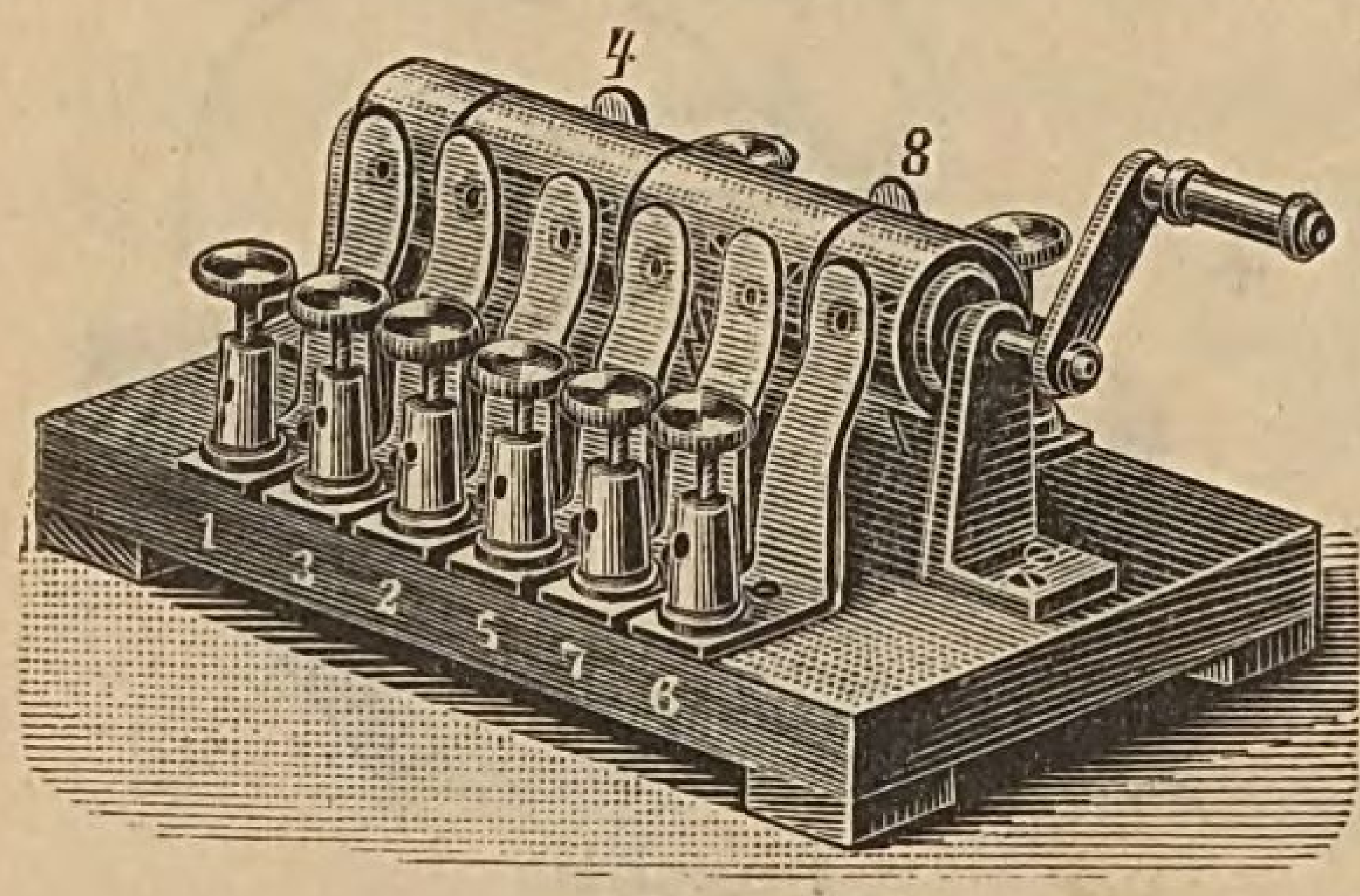


Fig. 318.

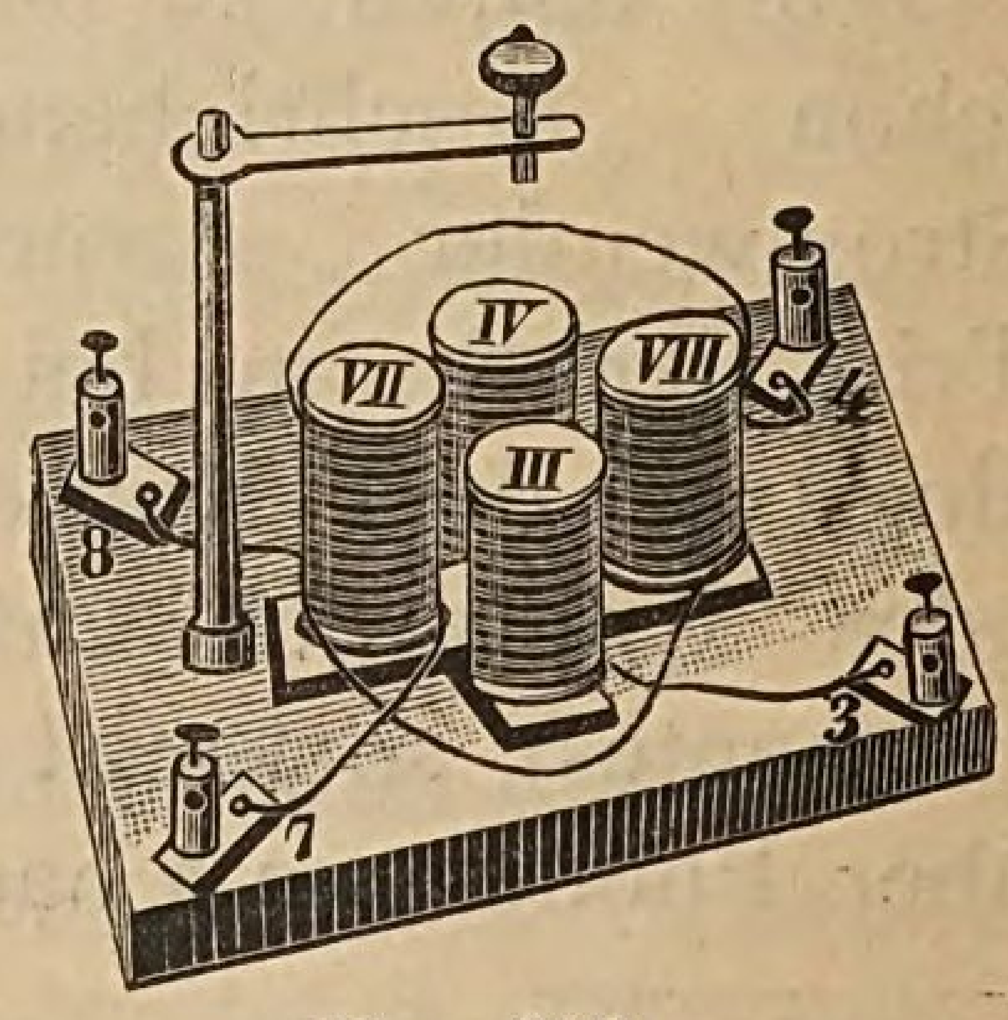


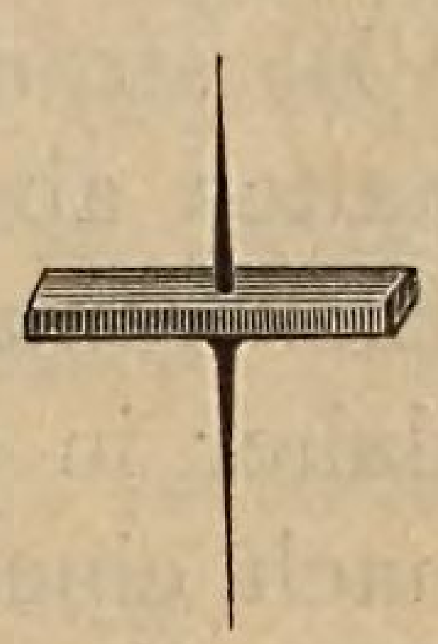
Fig. 319.

Das Drehen mit der Kurbel kann man umgehen.

indem man die Walze auf die Achse eines der beschriebenen Motoren aufsetzt und die Federn leicht, aber sicher schleifen lässt.

Gekreuzte Elektromagnete. (Fig. 319.) Man stellt zwei Elektromagnete mit ihren flachen Jochen rechtwinklig so ineinander, dass ihre Polflächen in einer Ebene stehen und deren Mittelpunkte die Ecken eines Quadrates bilden. Die Schenkel des inneren Magneten müssen um die Dicke des Joches kürzer sein, als die des äusseren; oder biegt man das Joch des inneren sattelförmig; zwischen beide Joche wird ein Stück Papier zur magnetischen Isolierung gelegt. Auf das Grundbrett werden die Magnete mit einer Messingschraube befestigt, in deren Kopf man ein Körnerloch geschlagen oder eine kleine Vertiefung eingebohrt hat.

Die Magnete können folgende Abmessungen haben: Schenkel 4 cm lang und 1 cm dick; Polflächen 3 cm breit; 5 bis 6 Lagen isolierten Kupferdrahtes von 0,8 bis 1 mm Durchmesser; Wickelung wie gewöhnlich in ∾form oder auf Spannung, so dass man 4 Polklemmen erhält, die hier mit 3 und 4 und mit 7 und 8 bezeichnet seien.


Fig. 320.

1) Eine Magnetnadel, (Fig. 320), aus einer breiten Uhrfeder gefertigt und von solcher Länge, dass sie über die Pole eines Magnetpaares reicht, wird mit ihrer fein zugespitzten Stahlachse zwischen die Vertiefungen der Messingschraube und oberen Schraube gestellt, so dass sie 1 bis 2 cm über den Polflächen schwebt. Verbindet man nun die Klemmen 1 und 2 des Doppelkommutators mit den Polen eines

Braunstein-Elementes, so fliesst der Strom über 4 (Fig. 318) nach 3 (Fig. 319) der gekreuzten Magnete, durch den zugehörigen Magneten und zurück nach 4 (Fig. 319); die Magnetnadel stellt sich somit über III und IV.

Dreht man hierauf die Kurbel um eine halbe Wendung oder um 180^0, so kehrt der Strom seine Richtung um, derselbe Magnet wechselt somit seine Pole und daher macht auch die Nadel eine halbe Wendung. Dreht man zur richtigen Zeit die Kurbel weiter, so gerät die Nadel in dauernde Umdrehung; wir haben das Bild eines Wechselstromerzeugers (-generators) und eines Wechselstrommotors. Bei ungleichmässiger Drehung der Kurbel kommt aber die Nadel in Verwirrung, sie bleibt stehen oder rotiert in umgekehrter Richtung. Generator und Motor müssen somit bei Wechselsrömen synchron (gleichzeitig und gleichperiodig) laufen.

2) Wir verbinden die Pole eines zweiten, gleichen Elementes mit 5 und 6 der Walze und 7 und 8 derselben mit 7 und 8 der Magnete. Der Strom von 3 nach 4 solle in III und IV solche Pole erzeugen, dass III Nordpol und IV Südpol ist, so wird sich die Nadel in der Richtung III—IV stellen, weil VII und VIII stromlos sind. Nach einer Achteldrehung erhalten aber letztere Strom von 7 nach 8 und beide Elektromagnete sind polarisch, die Nadel stellt sich daher in der Richtung zwischen beiden Magneten; nach einer Vierteldrehung haben bloss noch VII und VIII Strom; die Nadel stellt sich über ihre Pole. Nach wieder einer Achteldrehung haben beide Magnete wieder Strom, aber der erstere in umgekehrter Richtung, die Nadel dreht sich somit in der angefangenen Richtung weiter.

Infolge dieser Erscheinung heisst man die nacheinander eintretenden oder verschobenen Wechselströme auch Drehströme.

Würde man auf der Walze drei Stromwender anbringen, die um 60° verschoben sind, und würde man drei Elektromagnete einsetzen, welche Winkel von 60° einschliessen, so erhielte man den Dreiphasenstrom und den Dreiphasenstrommotor.

Phase bezeichnet den Hingang und Periode den Hin- und Hergang eines Wechelstromes, ähnlich wie man bei einem Pendel den Hin- und Rückgang eine Schwingung nennt. Fig. 326.

3) Wir stellen einen Flachring (Fig. 321) zwischen die beiden Bohrvertiefungen der gekreuzten Magnete. Derselbe besteht aus einer weichen Eisenscheibe, 1 mm dick, von der man ein koncentrisches Stück ausgedreht hat und die mit Kupferdraht so umwunden ist, dass Anfang und Ende desselben zusammengelötet sind (Schlussanker). Die Achse ist durch ein Stück Holz oder Kork gesteckt und mittels diesem an den Ring befestigt.

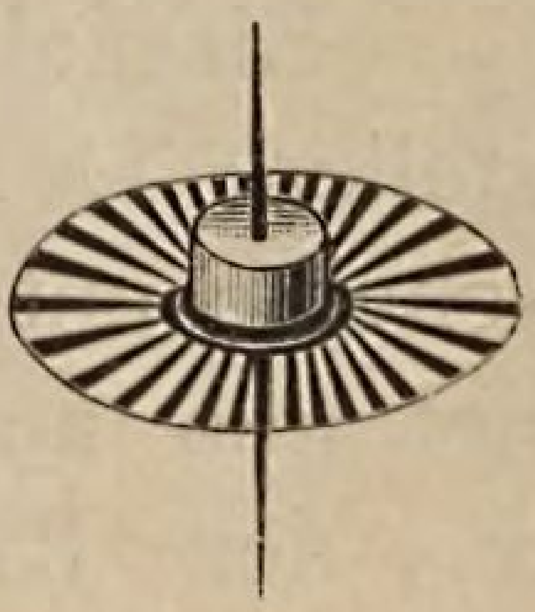


Fig. 321.

Werden zwei Flaschen-Elemente mit der Walze in der angegebenen Weise verbunden, so beginnt der Ring beim Drehen der Kurbel zu rotieren, dreht man die Kurbel in umgekehrter Richtung, so rotiert auch der Ring nach entgegengesetzter Seite.

Man nennt den bei dem Versuch mit der rotierenden Magnetnadel gefundenen Wechsel der Polrichtungen der gekreuzten Magnete samt ihren nach dem Gesetz des Parallelogramms der Kräfte

erfolgenden Zwischenwirkungen ein Drehfeld, d. h., das magnetische Feld der beiden Magnete dreht sich unter dem Einfluss der beiden verschobenen Wechselströme im Kreise um die gemeinschaftliche Achse. Dieses Drehfeld kann man sich durch einen rotierenden Magneten ersetzt denken. Dieser ruft in den Windungen der Scheibe Induktionsströme hervor und zwar am stärksten in den über ihm befindlichen Windungen. Nach dem Lenz'schen Gesetze ist die Richtung der Induktionsströme eine solche, dass sie die Bewegung des erzeugenden Magneten zu hemmen sucht. Die Bewegung dieses Magneten dauert aber fort, somit werden diese Windungen abgestossen und drehen sich in demselben Sinne.

Einfacher kann man sich den Vorgang so vorstellen. Der rotierende Magnet erregt in der Eisenscheibe entgegengesetzte Pole; dreht sich der Magnet nun auch weiter, so verschwinden diese Pole aus dem Eisen nicht plötzlich (remanenter Magnetismus) und werden von den kreisenden Polen nachgezogen.

Statt der Magnete mit Eisenkernen würde man dieselben Erscheinungen mit ihren Spiralen allein erhalten, nur in schwächerem Grade und statt der Eisenscheibe könnte man dieselben Windungen auf eine Holzscheibe wickeln; dann hätte man nur galvanische Felder.

4) Man legt ein Blatt Papier auf die Polflächen und siebt feine Eisenfeile auf. Sobald die Kurbel gedreht wird, heben sich die Eisenteilchen empor, sie fangen an zu laufen, sie überschlagen sich und wälzen sich mehr nach dem Centrum über das Papier (Glas-

platte). Am stärksten treten diese Erscheinungen über den Polflächen der Magnete auf.

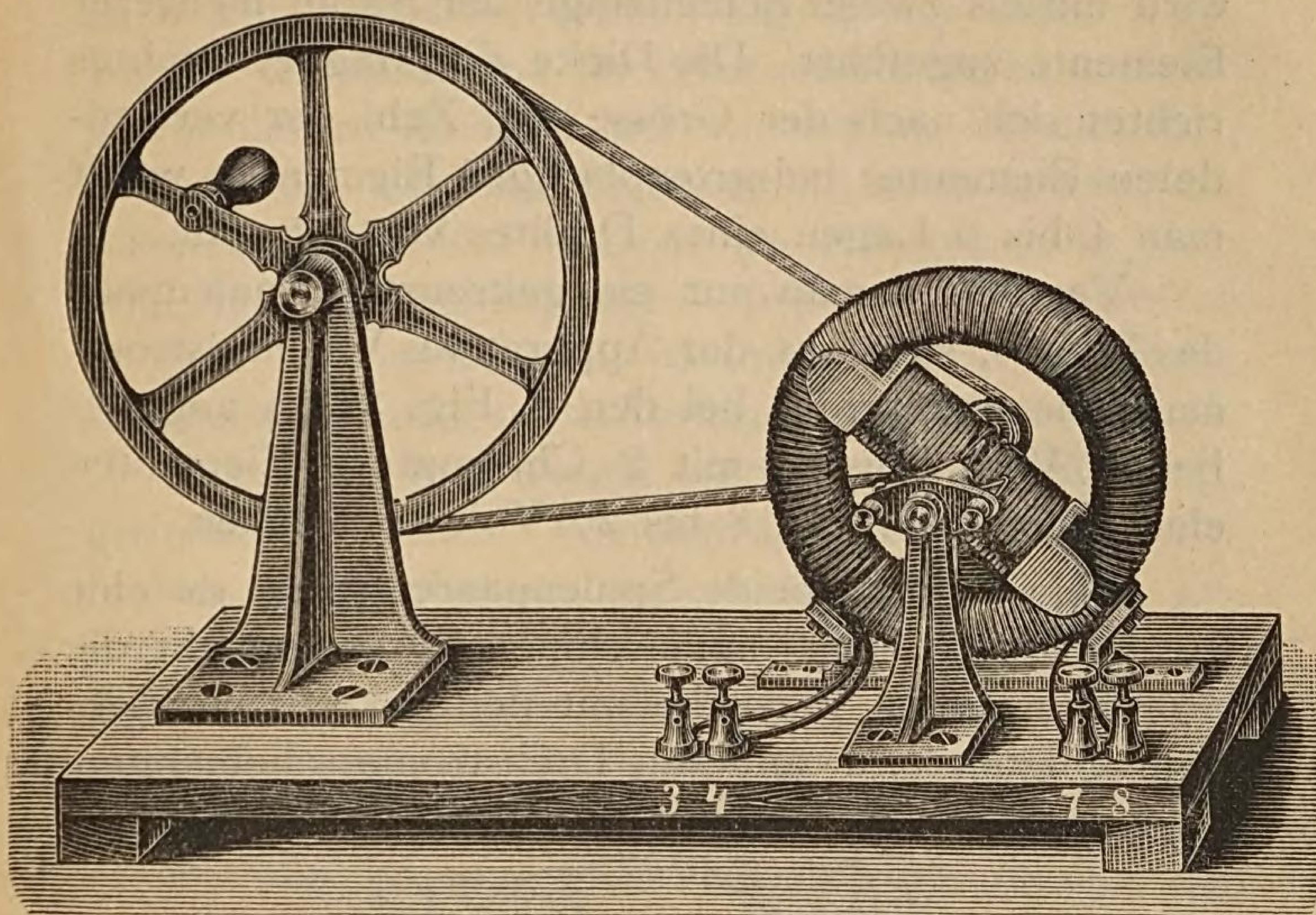


Fig. 321a.

Der Teslaring. Ein Eisendrahtring wird nach Fig. 285 bis 287 hergestellt, mit 4 Spulen eines Drahtes von 0,4 bis 0,5 mm in 6 bis 10 Lagen bewickelt und je zwei gegenüberliegende nach Fig. 321 b verbunden und die 4 Enden zu Polklemmen geführt. Innerhalb dieses Ringes rotiert mit 2000 bis 3000 Touren in der Minute ein gerader Elektromagnet mit

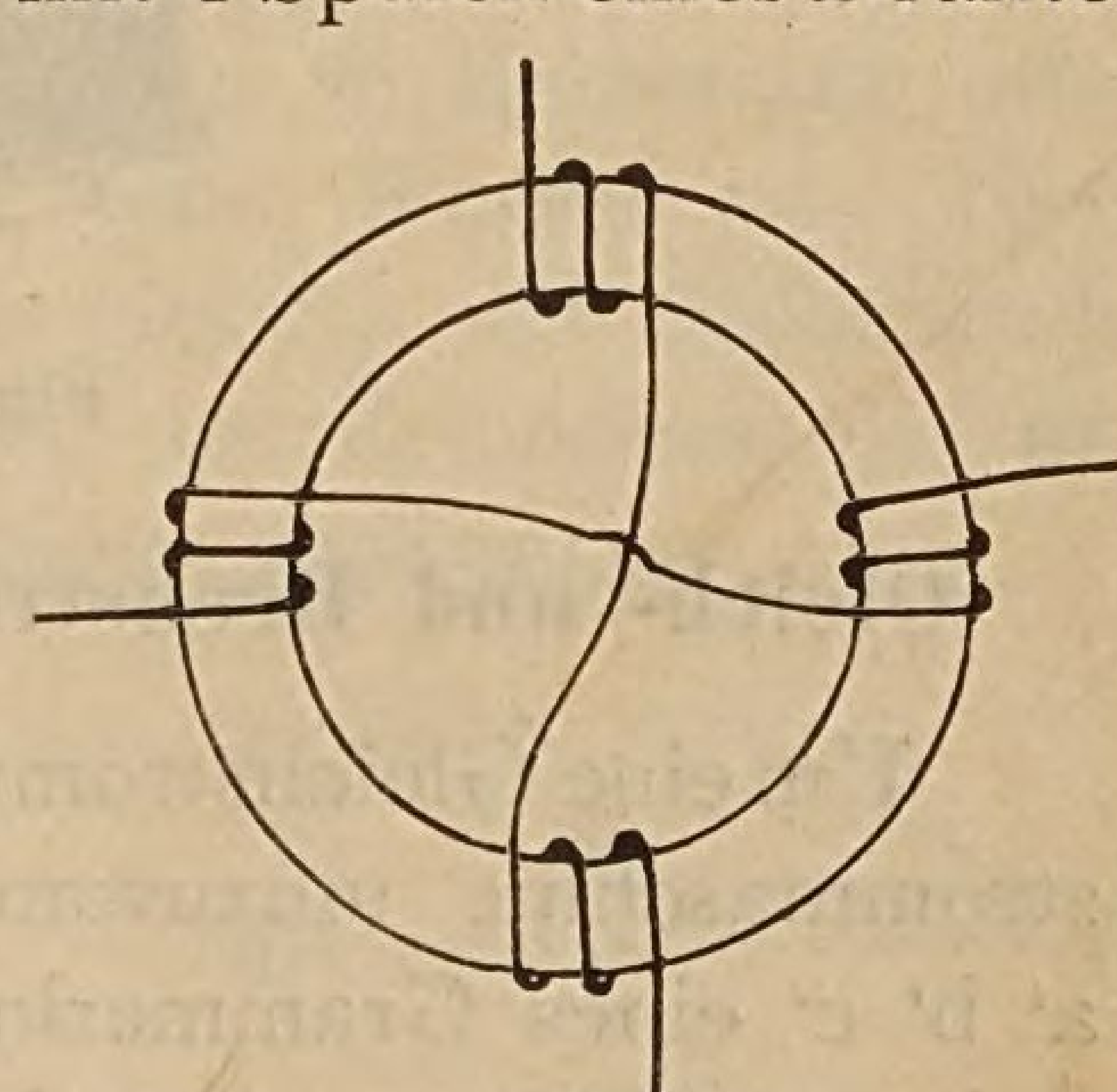


Fig. 321 b.

angesetzten Polschuhen, die den Ring von 3 Seiten möglichst nahe umfassen. Diesem Elektromagneten wird mittels zweier Schleifringe der Strom mehrerer Elemente zugeführt. Die Dicke des Magnet-Drahtes richtet sich nach der Grösse und Zahl der verwendeten Elemente; bei grossplattigen Elementen wählt man 4 bis 6 Lagen eines Drahtes von 1,5 mm.

Verwendet man nur ein gekreuztes Spulenpaar des Ringes, so wirkt der Apparat als Wechselstrommaschine und bringt bei den in Fig. 321 a angegebenen Verhältnissen mit 2 Chromsäure-Elementen eine Glühlampe von 8 bis 20 Volt ins Glühen.

Benutzt man beide Spulenpaare, so ist sie eine zweiphasige Drehstrommaschine und ermöglicht die Vornahme aller Versuche mit den gekreuzten Elektromagneten und anderen Drehstromerscheinungen.

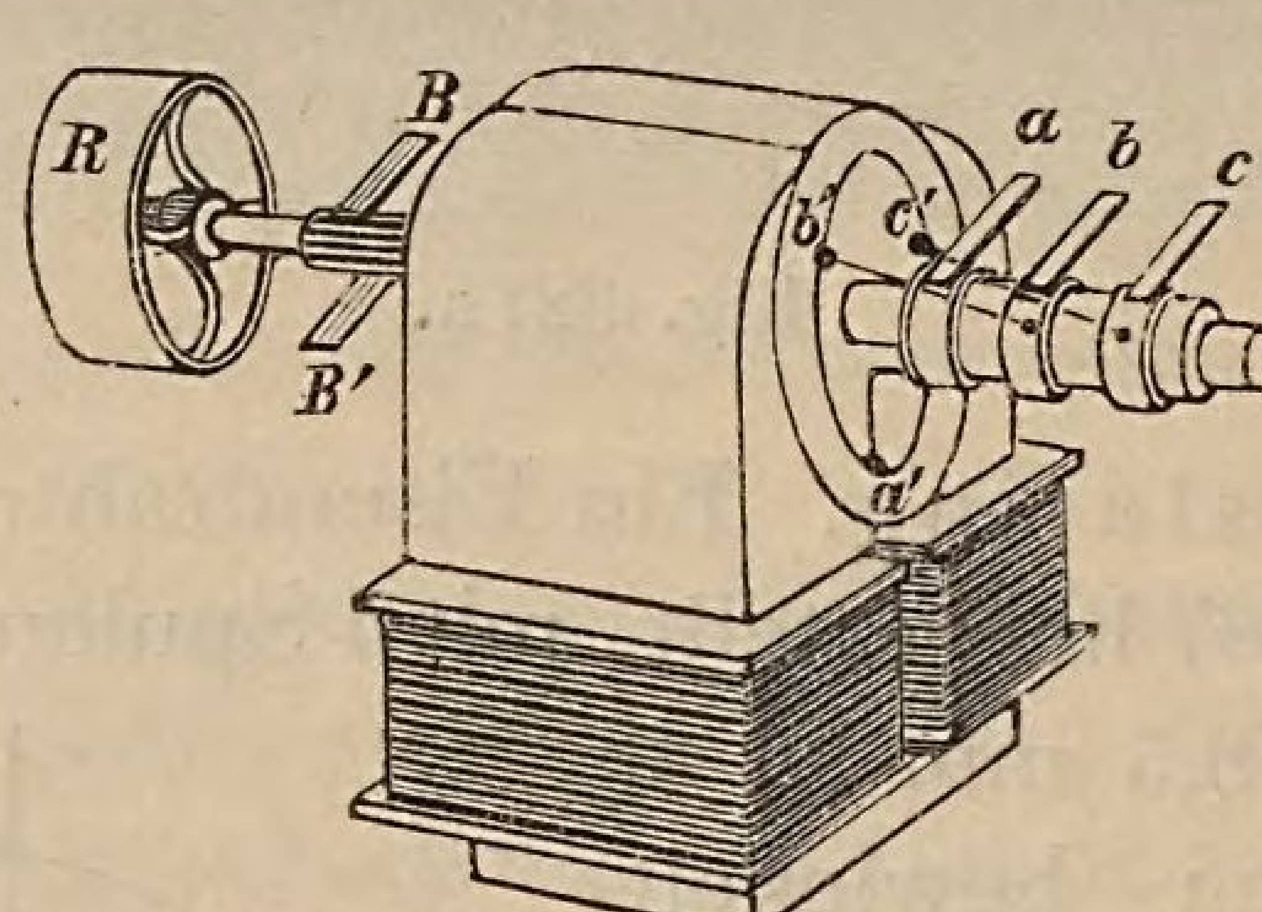


Fig. 321 c.

Gleich- und Drehstrommaschine. Fig. 321 c.

Um eine Gleichstrommaschine in eine Dreiphasenstrommaschine umzuwandeln, genügt es, 3 Punkte a' b' c' eines Grammeringes in gleicher Entfernung, d. h. um 120° von einander entfernt, mit den 3 Schleif-

ringen a b c zu verbinden; diese Ringe sind unter sich und von der Achse isoliert; die Zuleitungsdrähte zu b u. c sind isoliert unter Ring a, respektive b, gezogen. Die Maschine für Gleichstrom bleibt in ihrem gewöhnlichen Zustand, nur werden die Bürsten B B_1 aufgehoben, während die Maschine durch Antrieb der Riemenscheibe R Phasenströme erzeugt. Die Vorteile der Mehrphasenströme bestehen hauptsächlich in ihrer Anwendung auf Motoren, da sie ein Drehfeld besitzen und also die Motoren stets selbst anlaufen.

Fawcus & Cowan entnehmen einer Maschine gleichzeitig einen Gleichstrom und einen einfachen Wechselstrom, indem sie auf auf den gewöhnlichen Kommutator zwei unter sich und vom Kommutator isolierte Schleifringe setzen und zwei gegenüberliegende Stäbe des Kommutators mit den Schleifringen leitend verbinden. Sie speisen damit gleichzeitig Lampen mit Wechselstrom und eine Accumulatorenbatterie, welche nach Stillstand der Maschine die Beleuchtung übernimmt.

Stromkurven. Um sich ein Bild von dem Verlaufe der verschiedenen elektrischen Ströme machen zu können, stellt man dieselben in Zeichnung oder graphisch dar. Wie man beim Wasser von einer Nullfläche ausgeht, um das Gefälle der Ströme angeben zn können, so ist in der Zeichnung ein gerader Strich 0 0 als Nullebene angegeben.

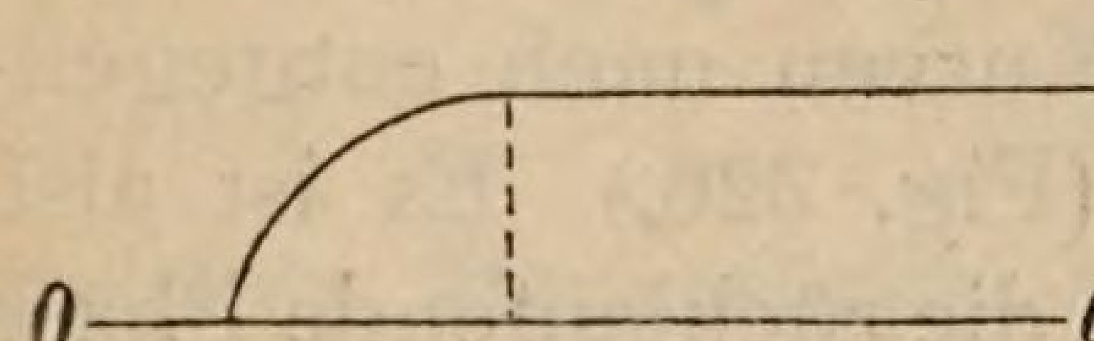


Fig. 322.

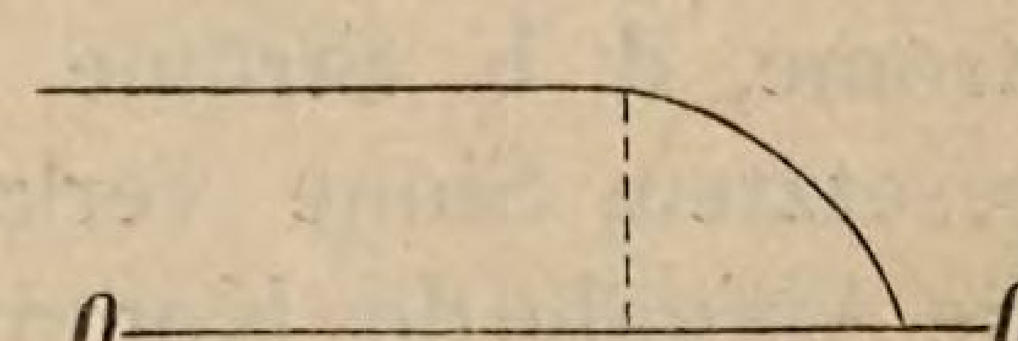


Fig. 323

Der galvanische Strom der Elemente steigt rasch an und verläuft nach Erlangung seiner vollen Stärke gleichmässig mit dieser Nullebene, beim Unterbrechen stürzt er ebenso plötzlich auf Null herab. (Fig. 322 und 323.)

Die Induktionsströme sind Stromstösse oder Stromwellen. Solche treten auf im Kommutator eines Doppel-T-Ankers; kreist der Strom desselben durch einen Elektromagneten, auf dessen Polen Eisenfeilspäne auf eine Glastafel gesiebt sind, so pulsieren diese bei langsamem Umdrehen des Ankers periodisch mit den Umdrehungen. Fig. 324.

Hat ein Pacinotti-Gramme-Ring thunlichst viele Spulen und Lamellen, so tritt eine Stromwelle auf,

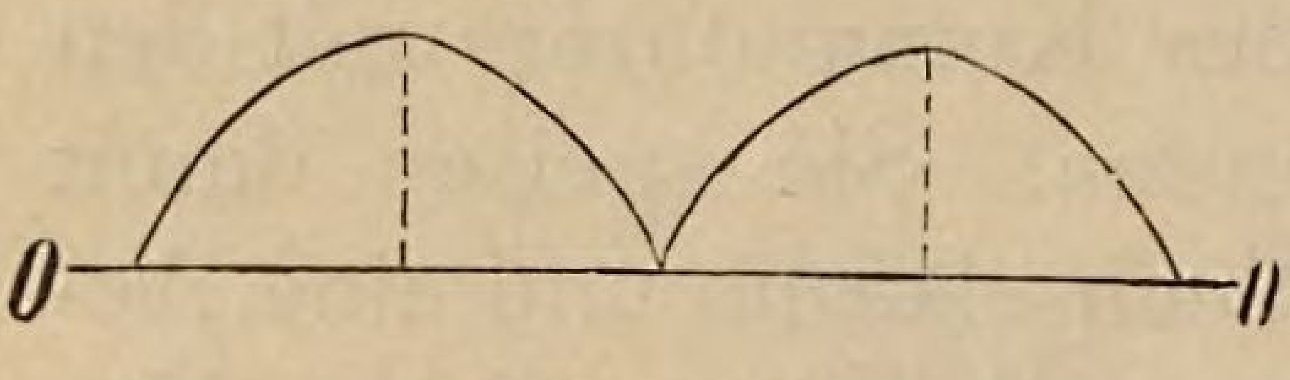


Fig. 324.

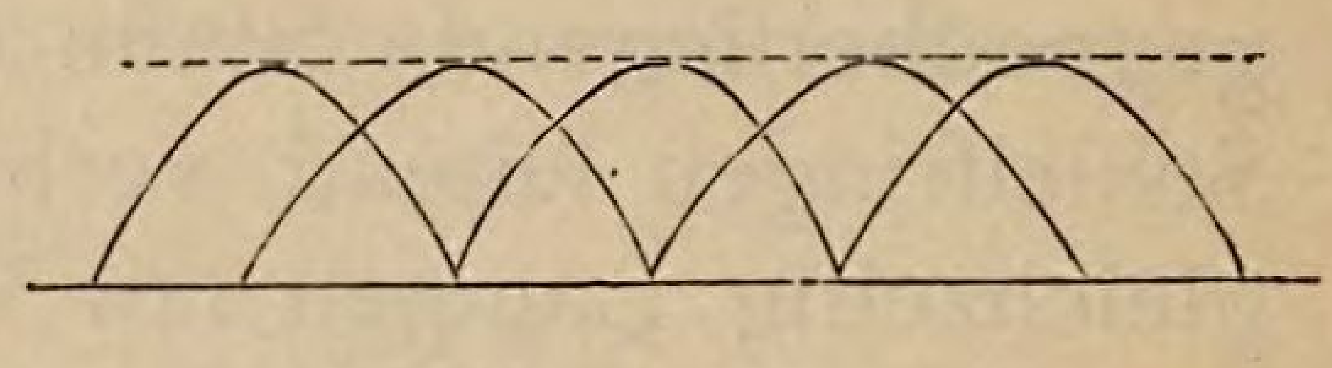


Fig. 325.

ehe die vorhergehende sich vollständig entwickelt hat; je rascher somit sich die Wellen folgen, umsomehr nähert sich ihr Gesamtstrom dem Gleichstrom, sodass man dieselben wie den galvanischen Strom in allen chemischen Prozessen, zur Beleuchtung mit Glüh- und Bogenlampen verwenden kann. (Fig. 324 und 325.)

Die Maschinen liefern ursprünglich Wechselströme, d. h. Ströme, deren Kurven nach entgegengesetztem Sinne verlaufen. (Fig. 326.) Es ist also die Aufgabe des Kommutators, die rücklaufende Phase des Wechselstromes umzukehren oder in die gleichlaufende zu verwandeln.

Je rascher die Wechselströme nach einander eintreten, oder je schneller die Verschiebungen aufeinander folgen, umsomehr giebt die Zeichnung das

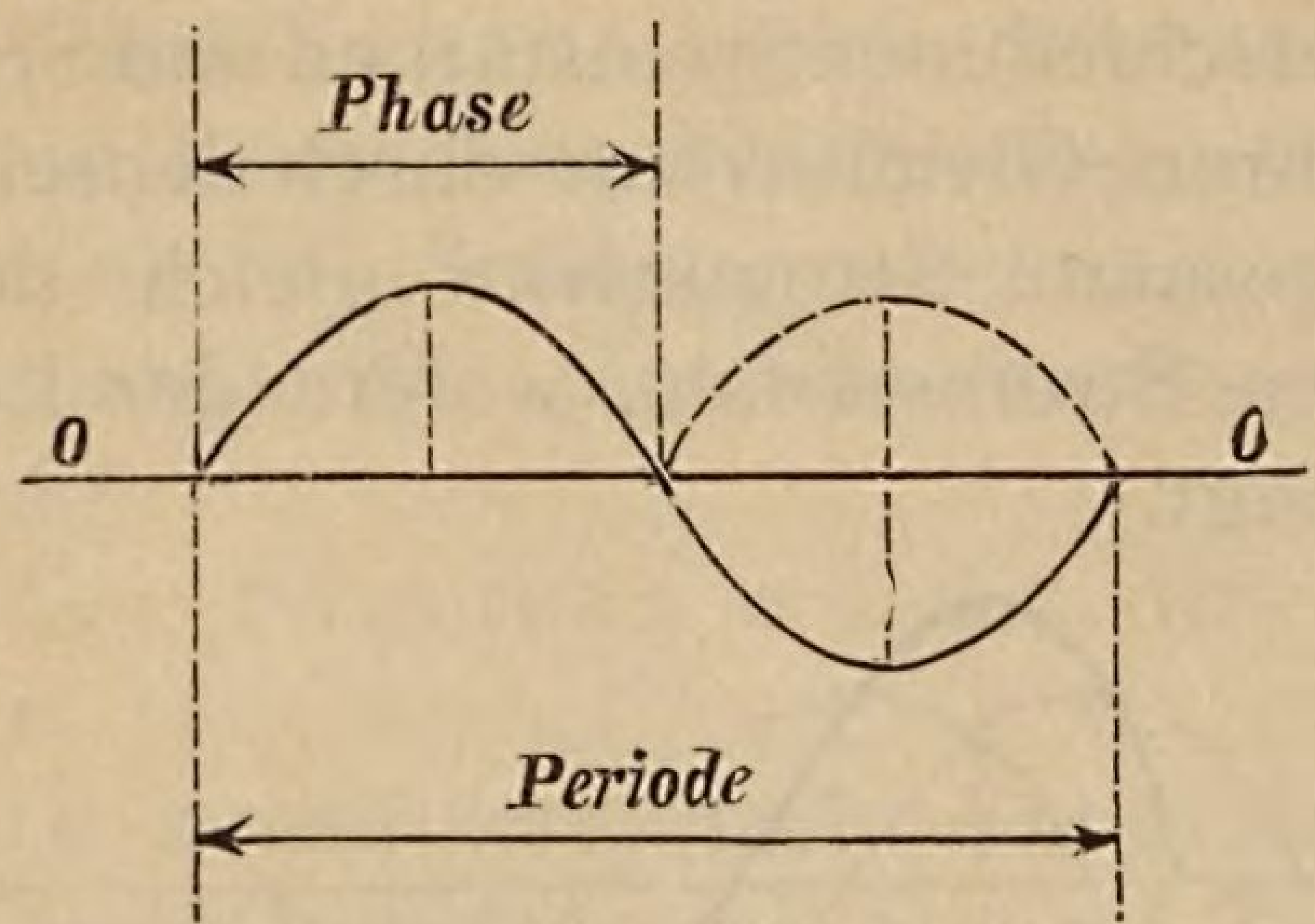


Fig. 326.

Bild zweier Gleichströme, die auf beiden Seiten der Nullebene parallel laufen. (Fig. 327.)

Der Mehrphasenstrom hat mit dem Gleichstrom das gemein, dass er eine bestimmte Richtung hat, und besitzt den Vorzug des Wechselstromes, dass er grossen Widerstand zu überwinden vermag. (S. 565).

Zwei Wechselströme können sich unterscheiden durch verschiedene mittlere Stromstärke; sodann durch verschiedene Perioden, der eine kann eine Periode von $\frac{1}{100}$ und der andere von $\frac{1}{300}$ Sekunde haben, und endlich können sie selbst bei

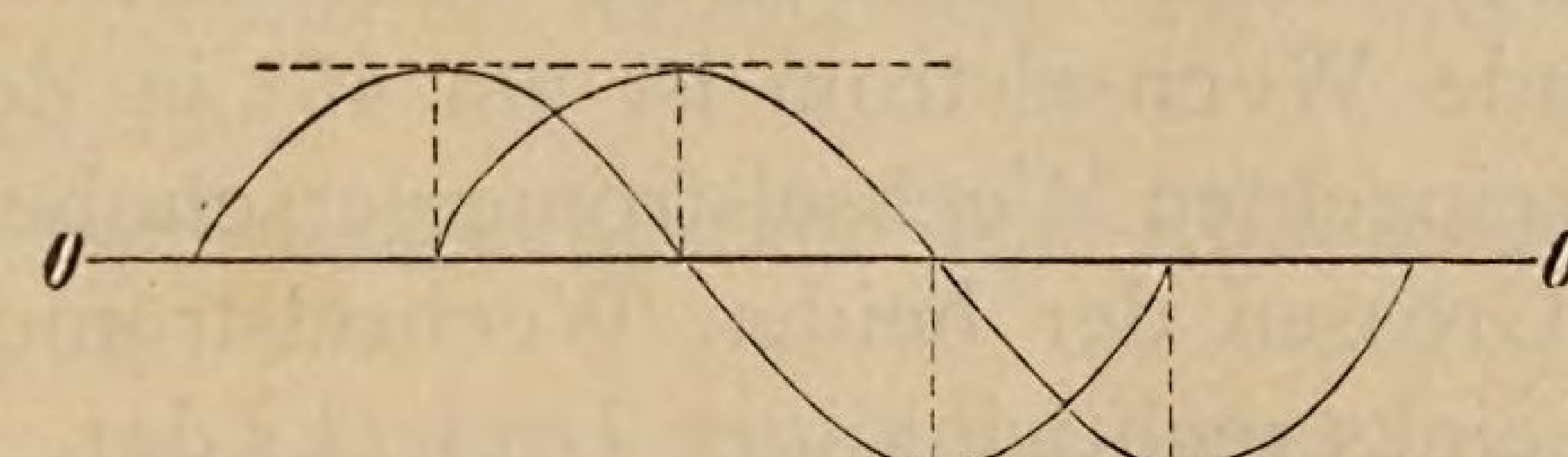


Fig. 327.

gleicher Stromstärke und gleicher Periode in ungleicher Zeit ihre höchste Stärke erreichen und somit auch in ungleichen Zeiten durch Null gehen,

d. h. sie haben verschiedene Phasen oder sind verschobene Wechselströme.

Der Unterschied zweier Gleichströme besteht nur in den verschiedenenSromstärken und Spannungen. Fliessen mehrere Gleichströme durch denselben Draht, so ist die gesamte Stromstärke gleich der Summe der einzelnen Stromstärken, wofern der Leiter diese Summe erträgt.

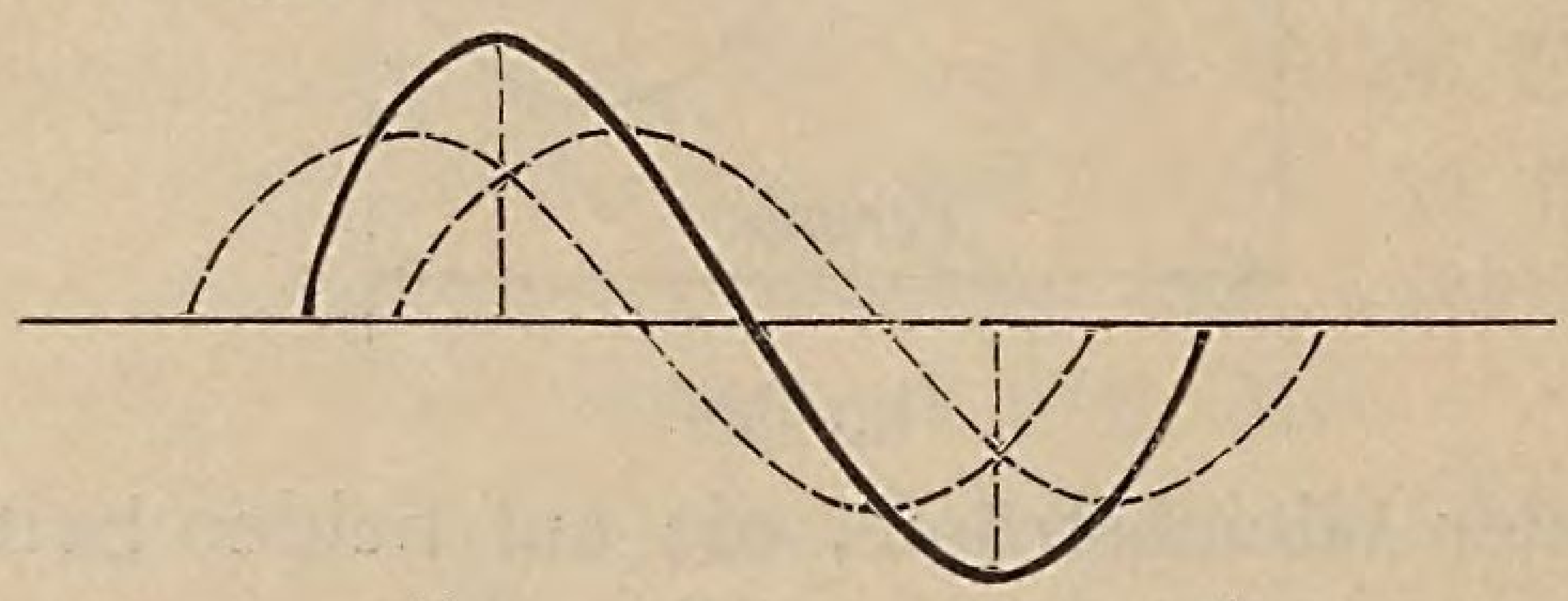


Fig. 327 a.

In Fig. 327 a deuten die punktierten Wellenlinien zwei verschobene Wechselströme an und die voll ausgezogene Wellenlinie den resultierenden Wechselstrom. Aus dieser Figur geht hervor: die resultierenden Stromstärken sind grösser als die einzelnen. Die grösste resultierende Stromstärke ist kleiner als die Summe der einzelnen Wechselströme. Die Periode des resultierenden Wechselstromes ist dieselbe wie die der einzelnen Wechselströme; der resultierende Wechselstrom ist um 45° in der Phase gegen die einzelnen Wechselströme verschoben. Stellt man die Grössen der beiden Wechselströme als die Katheten eines rechtwinkligen Dreiecks dar, so giebt die Hypotenuse die Grösse des resultierenden Wechselstromes an.

Geschichtliches.

1831 Faraday's Scheibe; erste magnetelektrische Maschine.

1832 Pixii lässt einen Stahlmagneten über einem Elektromagneten rotieren: Wechselströme, zweiteiliger Kommutator und Gleichströme.

1833 Pixii und Saxton lagern den Stahlmagneten fest und lassen den Elektromagneten rotieren.

1844 Stöhrer 3 Stahlmagnetenmagazine und 3 Elektromagnete; „aufgehende Sonne im Propheten.“

1857 Werner Siemens erfindet den Doppel-T-Anker.

1864 Wilde konstruiert nach Sinsteden (1851) eine Doppelmaschine mit Doppel-T-Anker; die kleinere liefert mittels Stahlmagneten den Erregerstrom für den Elektromagneten der grösseren Maschine; Lichtmaschine.

1865 Pacinotti erfindet den Ringanker.

1867 Dynamoelektrisches Princip von Siemens: der remanente Magnetismus im Elektromagneten reicht zur Erregung der Maschine aus.

1871 Gramme erfindet den Ringanker wieder und den mehrteiligen Kommutator.

1872 Trommelanker von Hefner von Alteneck.

1879 Doppelschlussmaschine von Brush.

1880 W. Siemens konstruiert eine Nebenschlussmaschine.

1887 Zweiphasenmotor als Elektricitätszähler von Borel.

1888 Zweiphasenstrommotor von Ferraris.

1888 Mehrphasenstrommotoren von Tesla.

1891 Kraftübertragung von Lauffen nach Frankfurt mit Dreiphasenstrom auf 175 km Entfernung.

Kapitel XV.

Differentialgalvanometer und Messbrücke.

Die Kenntnis der Leitungswiderstände ist für den Elektriker von so hoher Bedeutung, dass zwei Apparate, die vorzugsweise zu Widerstandsmessungen bestimmt sind, nicht übergangen werden dürfen, wiewohl ihre Anfertigung und insbesondere ihre Behandlung nur Geübteren von Vorteil sein werden: dies sind das Differentialgalvanometer und die Messbrücke.

Das Differentialgalvanometer.

a. Konstruktion. Man fertigt wie beim Multiplikator ein Rähmchen aus Holzbrettchen oder Messingplatten von etwa 1 mm Dicke an und sorgt dafür, dass die beiden Hälften einander möglichst gleich sind. Oder (Fig. 328 a u. b) man sägt mit der Laubsäge oder man dreht auf der Drehbank aus einem quadratischen Brettchen von etwa 1 cm Dicke ein Kreisloch von 4 bis 5 cm Durchmesser aus; leimt diametral zwei etwa 3 bis 4 mm breite und dicke Leistchen a a auf und unterhalb die beiden Fussleistchen

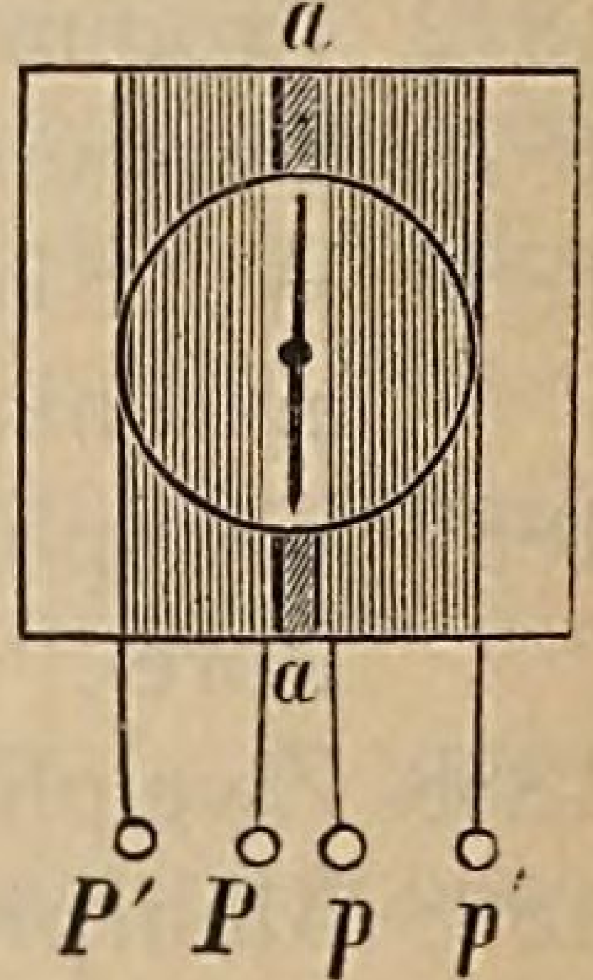


Fig. 328 a.

bb von etwa 5 mm Dicke, mittels deren der Rahmen auf das Grundbrett geleimt oder geschraubt wird. Dieses Rähmchen wird mit seidenübersponnenem Kupferdraht von überall gleichem Durchmesser und völlig gleicher Länge, also auch von gleichem Widerstande, bewickelt, aber so, dass diesmal der Draht auf jeder Hälfte nach derselben Richtung gezogen wird; man fängt jedesmal am besten innen, d. h. neben dem Spalt für das astatische Nadelpaar an und wickelt den Draht mit gleicher Spannung nach aussen und in dicht nebeneinander liegenden Spiralen, bis auf beiden Hälften etwa 4 Lagen sich befinden (dem Anfänger ist bloss eine Lage anzuraten) und führt beide Anfangsenden, sowie die Schlussenden zu den symmetrisch gestellten Polklemmen PP′ und pp′.

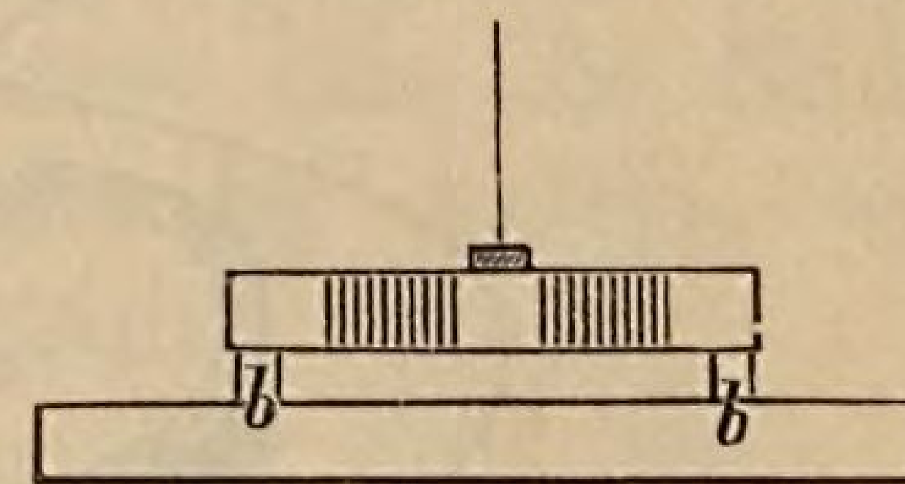


Fig. 328b.

Eine Kreisteilung ist bei diesem Instrument nicht notwendig, wenn man es nur als Differentialgalvanometer benutzen will; sondern bloss ein Merkzeichen für die Nord-Südrichtung der Nadel.

Man kann jedoch den Strom so durch die beiden Spulen hintereinander senden, dass das Instrument ein Multiplikator wird und darum thut man wohl daran, eine Kreisteilung gleich bei der Anfertigung anzubringen.

Eine zweite Form zeigt Fig. 328c. Man dreht eine Holzscheibe von 1 cm Dicke und 6 bis 8 cm Durchmesser, durchschneidet sie genau nach einem Durchmesser, leimt auf beiden Seiten dünne Holzbrettchen oder schraubt Zink- oder Messingscheiben auf, so dass für jede Hälfte ringsum eine Nute von

5 mm Tiefe entsteht, bewickelt jede Hälfte genau mit gleich viel Draht und schraubt sie dann auf ein Grundbrett, auf das man auch die Kreisteilung leimt.

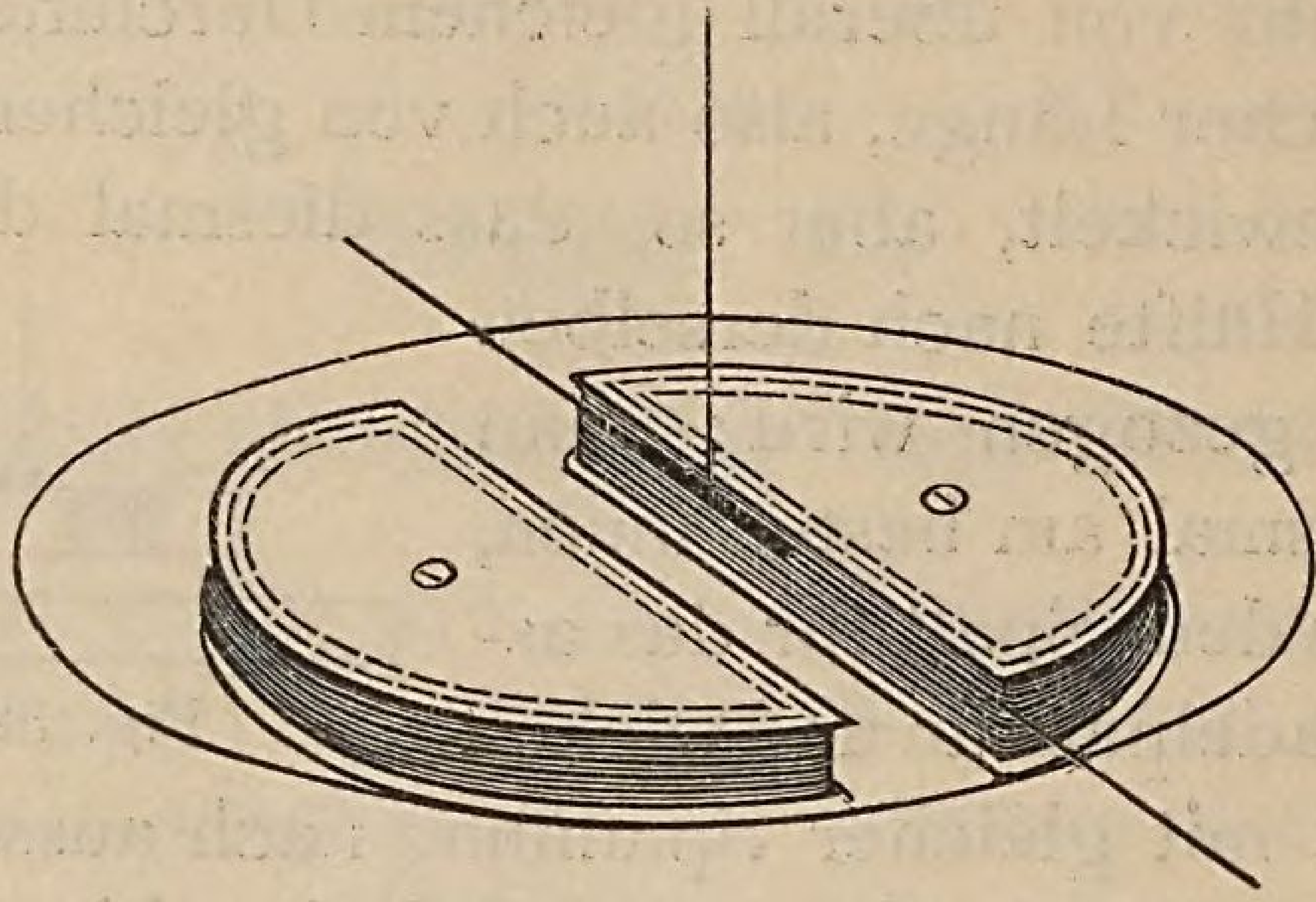


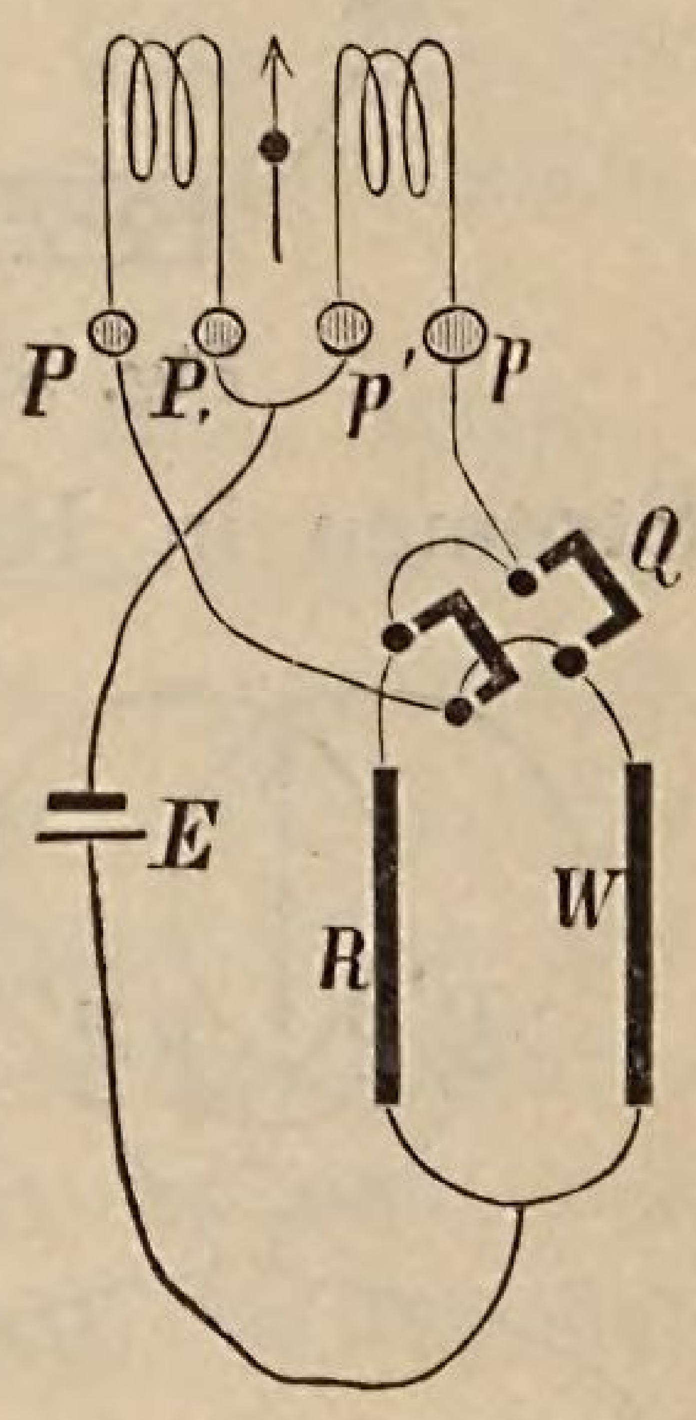
Fig. 328 c.

Die Drahtenden jeder Hälfte zieht man wie in Fig. 328a zu Polklemmen, die kurze Magnetnadel hängt man an einen kurzen Kokonfaden möglichst genau zwischen beide Hälften; das Instrument wird so sehr flach. Das Grundbrett erhält 3 Stellschrauben von Messing. Wird das Instrument als gewöhnliches Galvanometer gebraucht, so sind seine Nadelabweichungen bis etwa 50° den Stromstärken proportional.

Um nun die beiden Bedingungen für Nichtabweichen der Nadel beim Stromdurchgang: Gleichheit der magnetischen Wirkungen und Gleichheit des Widerstandes zu erreichen, werden die Drähte auf gleichen Widerstand untersucht. Wird nämlich ein Strom durch die Spulen gesendet, so findet man vielleicht, dass die eine derselben eine grössere magnetische Wirkung hat als die andere, vielleicht deshalb, weil der eine Draht

ein wenig dicker und darum etwas länger ist als der andere. Um dem abzuhelfen, wird ein kleiner Teil des Drahtes abgewickelt und der abgewickelte Teil auf der Basis des Instruments zusammengerollt.

Ist die Nadel (wie im Multiplikator) an einem Kokonfaden aufgehängt, so kann man leicht eine Justierung dadurch erreichen, dass man die Nadel der einen Spule näher bringt als der andern, was man durch Änderung an der Aufhängevorrichtung bewirkt, oder indem man die Stellschrauben des Instrumentes reguliert.



Q Quecksilber-Kommutator; W Widerstand; R Rheostat.

Fig. 329.

Da obige beide Bedingungen schwer zu erfüllen sind, so verbindet man die zu vergleichenden Widerstände mit einem Stromwender (Fig. 329), welcher sie mit einander vertauschen lässt. Beide sind gleich, wenn bei ihrer Vertauschung die Einstellung der Nadel sich nicht ändert.

Oder auch: Ist R ein Rheostat, und findet man, dass die Nadel ruhig bleibt, wenn R' eingeschaltet ist, bei umgelegtem Stromwender Q aber R'', so ist $W = \frac{1}{2}(R' + R'')$.

Das ganze System befindet sich unter einem Glasgehäuse.

b. Schaltungen der beiden Spulen. Die beiden Spulen eines Differentialgalvanometers können auf verschiedene Weise in den Stromkreis eingeschaltet werden.

In Fig. 329 a sind sie hinter- und gegeneinander verbunden; die Nadel muss auch bei den stärksten

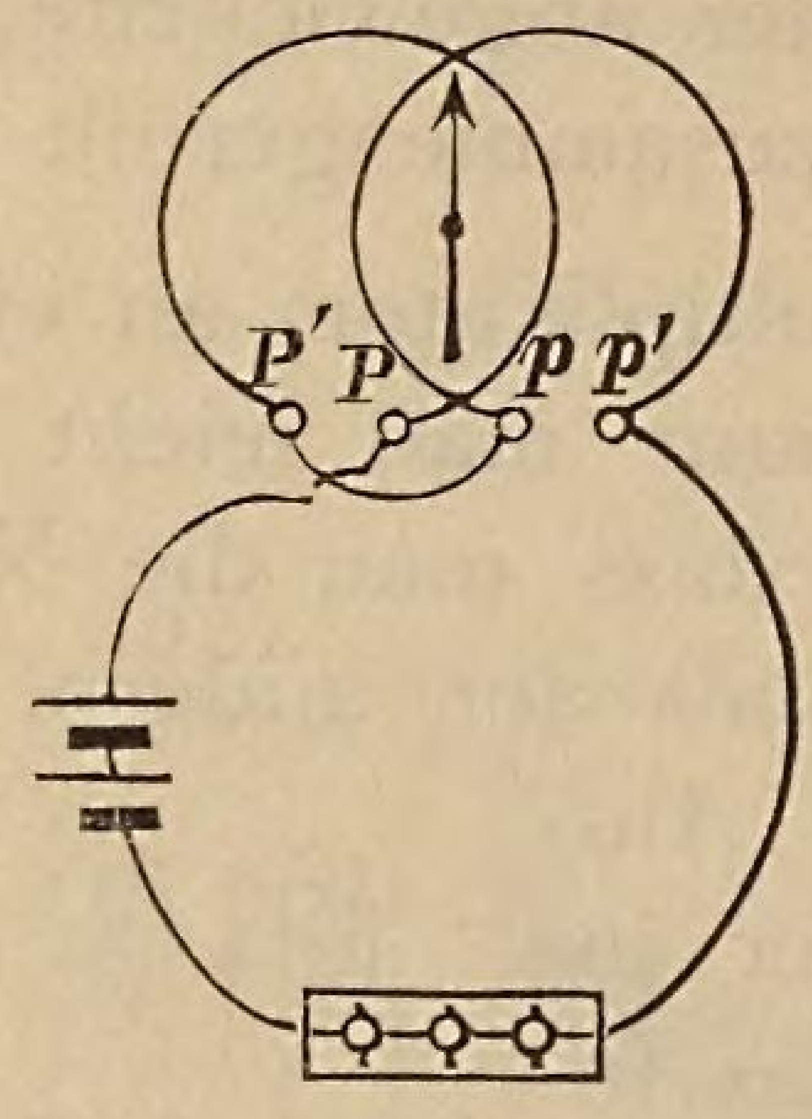


Fig. 329a.

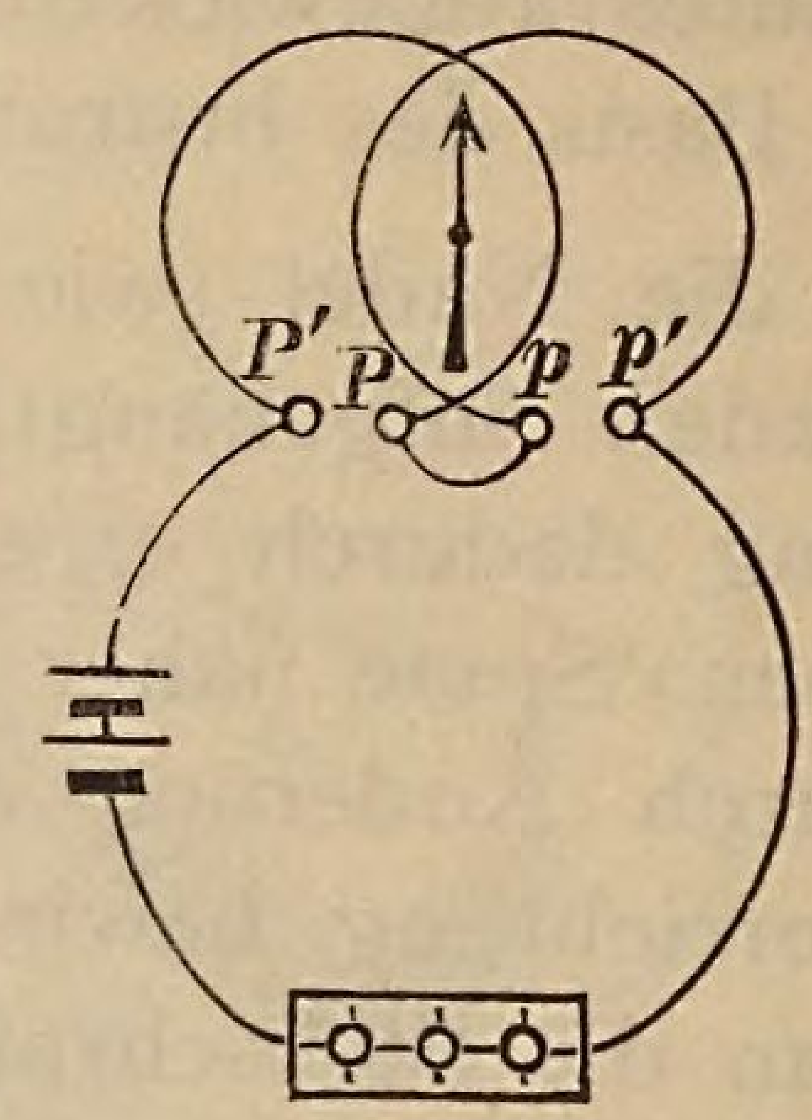


Fig. 329b.

Strömen in Ruhe bleiben. In Fig. 329 b sind die beiden Spulen hinter- und miteinander geschaltet. Zur Prüfung auf gleichen Widerstand werden sie gegen- und nebeneinander verbunden. Fig. 329 und 329 c.

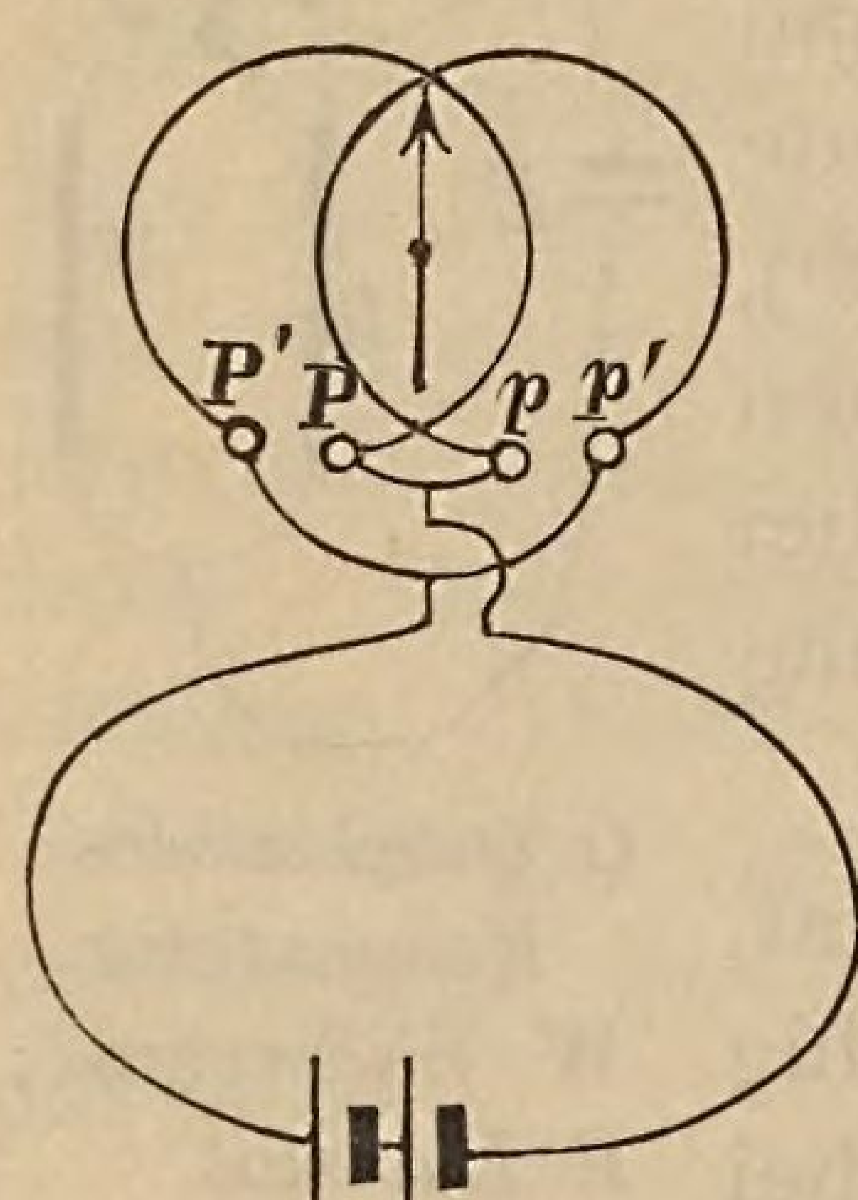


Fig. 329 c.

c. Ein **Widerstands-Etalon** ist ein Draht von einem Einheitswiderstand. Der praktische Einheitswiderstand ist ein Ohm; eine andere Einheit ist die Quecksilbereinheit von Siemens; 1 Ohm verhält sich zu einer Siemenseinheit wie 106,3 zu 100; d. h. 1 Ohm = Widerstand einer Quecksilbersäule von 106,3 cm Länge und 14,492 g Gewicht.

Kann sich der praktische Elektriker eine Einheit nicht käuflich erwerben, so helfe er sich in folgender Weise: er schneide sich nach der über Kupfer-

widerstände gegebenen Tabelle sowohl nach Gewichts- als nach Längenangabe von dünneren Drähten, da diese dem reinen Kupfer ziemlich nahe kommen, und von mehreren Sorten je eine Ohmeinheit von etwa 1 bis 2 m Länge ab und vergleiche sie unter einander mit Hilfe eines empfindlichen Galvanoskops (III Vertauschungsmethode) oder besser des Differentialgalvanometers; *den* Draht, der dem mittleren Wert am nächsten ist, spanne er auf eine Holzleiste, über einen Papierstreifen aus, und teile die der Drahtlänge entsprechende Papierlänge in 100 gleiche Teile. (Siehe Linearrheostat).

Ein anderer Weg zur Erlangung einer Widerstandseinheit ist folgender: man füllt eine enge Glasröhre von möglichst gleichbleibendem Querschnitt und etwa 1 m Länge, bestimmt genau die Länge dieses Quecksilberfadens, giesst das Quecksilber aus und wiegt es. Bezeichnet l die Länge des Quecksilberfadens in m, G dessen Gewicht in mg und wiegt ein mm^3 Quecksilber 13,596 mg, so ist der Widerstand des Quecksilberfadens

$$R = \frac{13{,}595 \cdot l^2}{1000\ G}\ \text{SE.}$$

Aus der Siemenseinheit S E lässt sich aber nach obigem der Widerstand in Ohm umrechnen.

d. *Vergleichung von Widerständen.* (Fig. 330.) Schalte die ganz gleichen Zweigleitungen I und II, zu Spiralen gewickelt, ein; die Nadel bleibt in der Ruhelage.

Man fertige aus Neusilberdraht von etwa 0,5 mm Durchmesser mehrere gleiche Spiralen. Schalte wieder

zunächst in jede Zweigleitung eine Spirale I und II; die Nullstellung der Nadel nach Einschaltung des Stromes verrät wieder die Gleichheit der Widerstände. Schaltet man nun in den einen Zweig eine zweite Spirale parallel der ersten, so zeigt der Ausschlag am Galvanometer die Abnahme des Widerstandes in der Doppelleitung; wird dann die Zahl der Windungen des ersten Zweiges halbiert, so bleibt die Nadel in der Nulllage, d. h. die Doppelleitung hat den halben Widerstand des einfachen Drahtes.

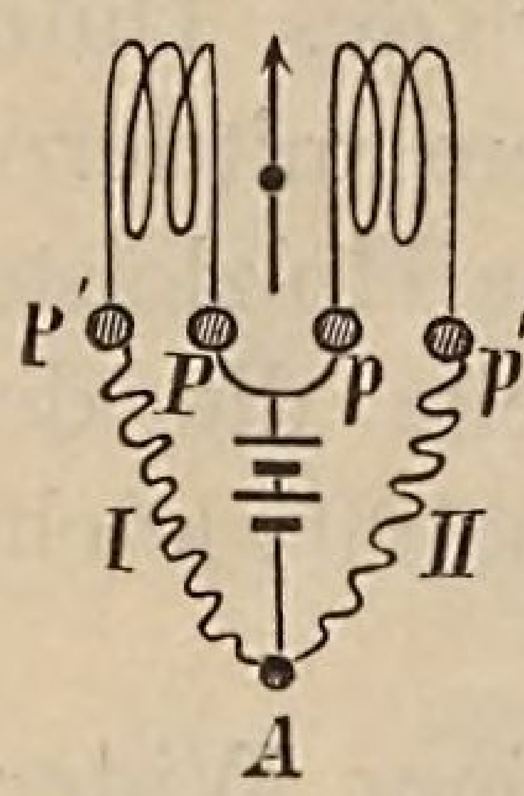


Fig. 330.

Man vergleicht den Widerstand eines dünnen Drahtes mit dem eines doppelt so dicken; sollen beide den gleichen Widerstand haben, so muss der dickere die vierfache Länge besitzen; wiegt man ab, so ist der dickere 16 mal so schwer als der dünnere. Der Widerstand ist also umgekehrt proportional dem Querschnitt

$$r = \frac{1}{q}.$$

Man schaltet einen mehrere m langen Kupferdraht in den einen Zweig und einen gleich dicken Neusilberdraht und ändert die eine Drahtlänge, bis kein Ausschlag erfolgt. Der Kupferdraht wird etwa 10 mal länger sein als der Neusilberdraht. Neusilber hat demnach einen 10 mal grösseren, seiner Art zukommenden oder s p e c i f i s c h e n L e i t u n g s w i d e r s t a n d a l s Kupfer.

Als Einheit nimmt man 1 m Länge und 1 mm^2 Querschnitt.

Bei 18°.	Spec. Widerstand 1 m Länge u. 1 mm² Querschnitt hat den Widerstand in Ω.
Silber	ϱ = 0,016
Kupfer	0,0171
Zink	0,063
Eisen	0,09 bis 0,15
Platin	0,14
Quecksilber	0,958
Gaskohle etwa	50
Neusilber	0,16 bis 0,40
Nickelin	0,42
30 % Mangankupfer	1,08

Der Widerstand r eines Drahtes von 1 m Länge und q mm² Querschnitt ist $r = \varrho \cdot \frac{1}{q}$ Ohm. (Vergl. VII, Widerstände).

Aufgaben. 1) Wie gross ist der Spannungsverlust in einer eisernen Leitung von 70 m Länge, 2,5 mm² Querschnitt und 0,1 spec. Widerstand bei 8 Amp. Stromstärke?

$r = \varrho . \frac{l}{q}$ und nach Ohm $e = i r$; aus beiden Gleichungen folgt

$$e = \varrho \cdot \frac{l}{q} \cdot i \quad \text{und} \quad q = \frac{\varrho \cdot l \cdot}{e}.$$

$$\text{EMK } e = 0{,}1 \cdot \frac{70}{2{,}5} \cdot 8 = 22{,}4 \text{ Volt.}$$

$$\text{Widerstand } r = 0{,}1 \cdot \frac{70}{2{,}5} = 2{,}8 \ \Omega.$$

2) Eine kupferne Leitung ($\varrho = 0{,}017$) soll 100 Amp. 300 m weit und wieder zurück mit einem

Spannungsverlust von 15 Volt leiten. Wie gross muss der Querschnitt und der Durchmesser des Drahtes genommen werden?

$$q = \frac{0{,}017 \cdot (2 \cdot 300) \cdot 100}{15} = 68 \text{ mm}^2$$

$$d \text{ (Durchmesser)} = 2 \cdot \sqrt{\frac{68}{3{,}14}} = 9{,}3 \text{ mm.}$$

3) Ein Draht von 1 m Länge und 11 g Gewicht hat einen Widerstand von 0,0136 Ohm; wie gross ist seine Reinheit oder seine spec. Leitungsfähigkeit und wie gross sein spec. Widerstand?

Nach der Kupferdrahttabelle hat ein Draht von 1 m Länge und 10,066 g Gewicht einen Widerstand von 0,014126 Ohm; bei 11 g Gewicht leistet er einen Widerstand von $\frac{0{,}014126 \cdot 11}{10{,}066} = 0{,}01283$ Ohm.

Die spec. Leitungsfähigkeit ergiebt sich aus der Proportion

$$0{,}0136 : 0{,}01283 = 100 : x; \quad x = 94{,}33\ \%.$$

Der spec. Widerstand ist die Umkehrung der spec. Leitungsfähigkeit; daher $\varrho = \frac{1}{94{,}33} = 0{,}0106.$

e. Messung des Widerstandes eines kürzeren Drahtes. (Fig. 331.) Man legt den einen Pol einer Batterie B an die Polklemmen Pp und zwischen den andern Pol der Batterie und den Klemmen P′p′ schaltet man einerseits den zu messenden Widerstand w und anderseits den Rheostaten W ein. Dem Strom bieten sich nun zwei Wege; der eine geht über U und der andere über U′. Die Nadel

wird unter dem Einflusse desjenigen Zweigstromes am stärksten abgelenkt werden, welcher den geringsten Widerstand zu überwinden hat; aber keine Ablenkung erfahren, wenn in beiden Stromkreisen gleiche Widerstände liegen. Um dies zu erreichen, wird am Rheostatdraht W eine Kontaktklemme, an die der Zuleitungsdraht zu p′ geschraubt ist, so lange verschoben, bis die Nadel auf 0° zeigt. Die Zuleitungsdrähte müssen gleichen Widerstand besitzen.

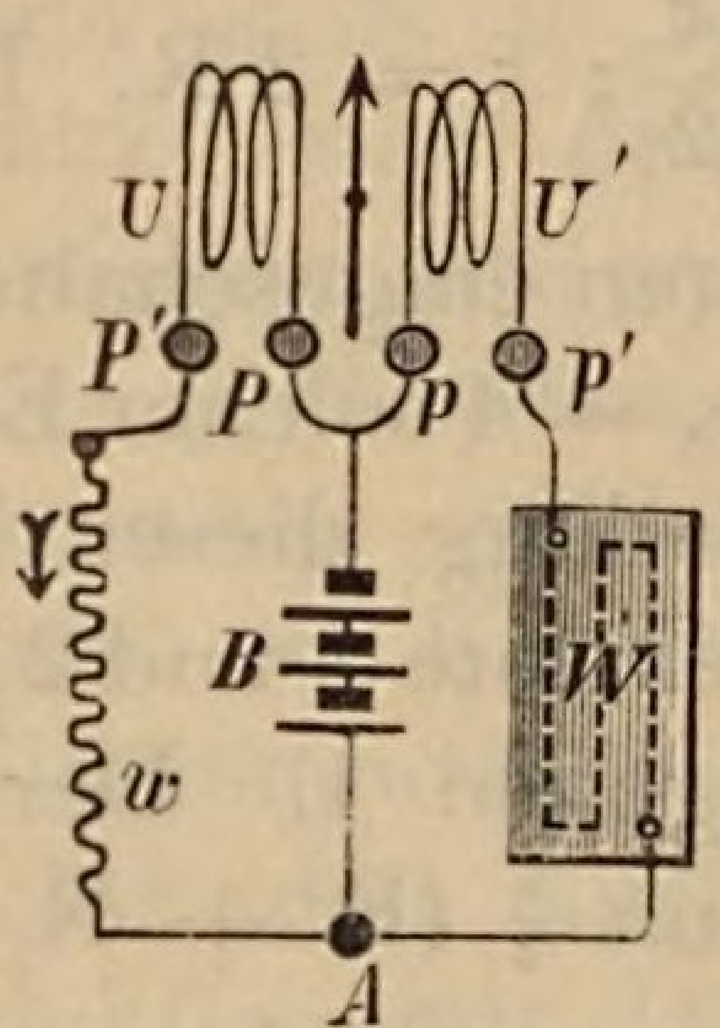


Fig. 331.

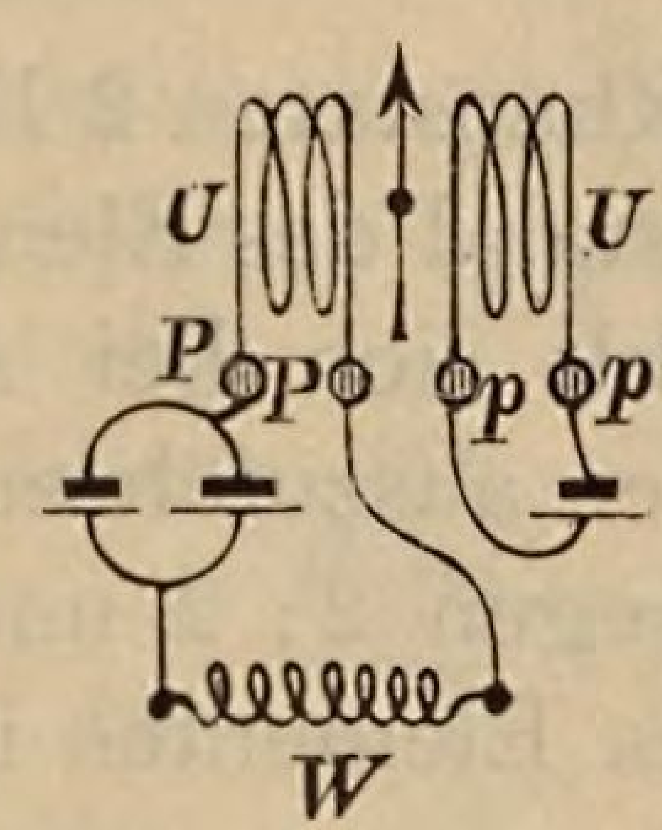


Fig. 332.

f. Bestimmung des Widerstandes galvanischer Elemente. Man verbinde 3 Elemente derselben Gattung, also mit annähernd gleichem Widerstande nach der in Fig. 332 skizzierten Schaltungsweise. Das doppelplattige Element wird durch die Umwindungen U und den Rheostaten W, das einfache Element nur durch die Umwindung U′ geschlossen. In beiden Stromkreisen wirken gleiche elektromotorische Kräfte, denn die EMK wird durch Nebeneinanderschaltung zweier Elemente nicht erhöht; es erübrigt daher nur eine Ausgleichung der

Widerstände, um die in entgegengesetzter Richtung fliessenden Ströme in ihrer Wirkung auf die Nadel sich aufheben zu lassen.

Bezeichnet man den Widerstand des einzelnen Elements mit r, so ist derjenige des doppelplattigen $= \frac{r}{2}$. Der Widerstand R, welcher, um die Nadel des Instrumentes auf 0'' zu bringen, in den Rheostaten eingeschaltet werden muss, wird ebenfalls $\frac{r}{2}$ sein müssen. Es ist somit $R = \frac{r}{2}$; $r = 2\,R$. Hat man nun vom Rheostaten 2 Einheiten eingeschaltet, so ist der Widerstand des Elementes = 4 solcher Einheiten. Es empfiehlt sich bei Anwendung dieser Methode 3 Messungen auszuführen: Elemente 1 und 2 gegen 3; 1 und 3 gegen 2; 2 und 3 gegen 1. Der Widerstand eines Elementes ist dann $\frac{2}{3}\,(R + R_1 + R_2)$.

g. Das einfachste Näherungsverfahren zur Messung des Widerstandes von Elementen ist nach Discher folgendes. Vor der Batterie (Fig. 332 a) wird der Taster T eingeschaltet, so dass der Strom U u. U' durchfliesst; der Taster wird gedrückt, und der Widerstand R reguliert, bis die Nadel auf Null zeigt; dann ist der Widerstand der Batterie gleich dem des eingeschalteten Rheostatendrahtes.

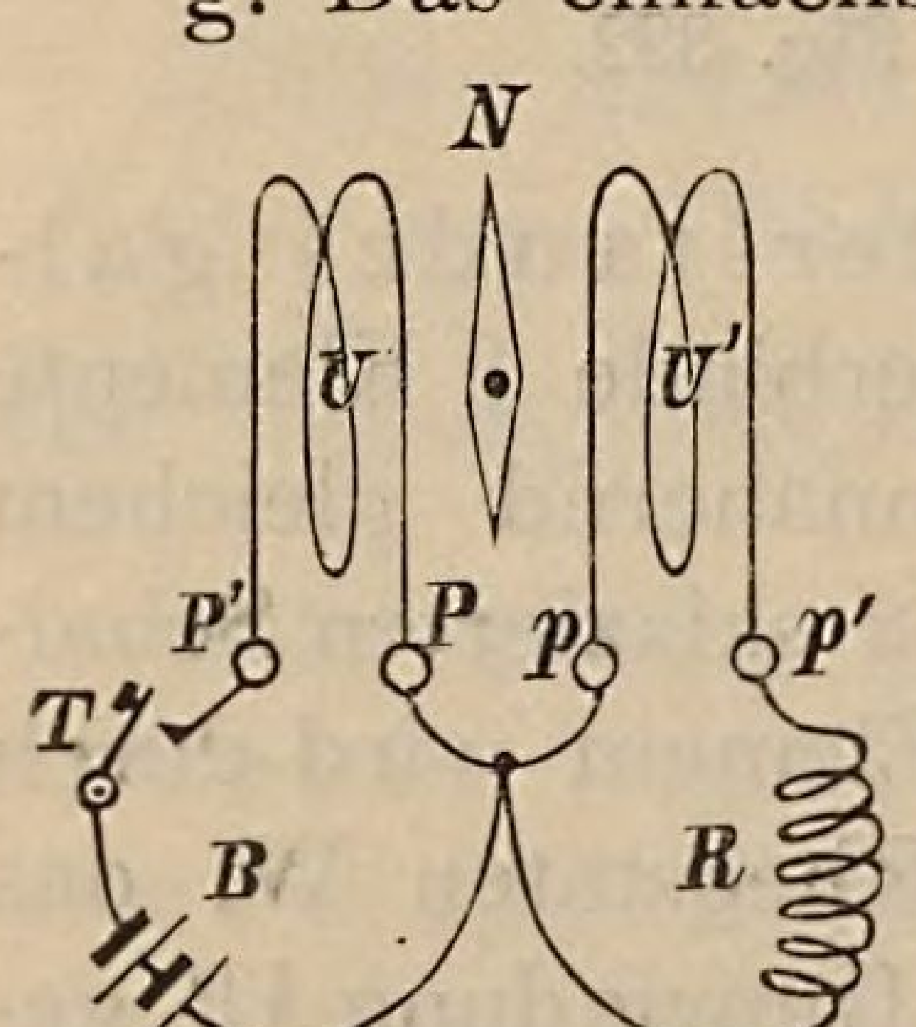


Fig. 332 a.

h. Um grössere oder kleinere Widerstände mit

dem Differentialgalvanometer zu messen, als der vorhandene Widerstandskasten enthält, schaltet man nach Clark zwischen P und P′ (Fig. 332 b) einen Nebenschluss $n = \frac{1}{9} \left(\frac{1}{99}\right)$ des Galvanometerwiderstandes ein; dann geht durch U nur $\frac{1}{10}$ des nach links abgezweigten Stromes. Sind nun R und X so geschaltet, dass keine Nadelablenkung erfolgt, so muss durch R das Zehnfache von dem Strom fliessen, der durch X geht, dann ist $X = 10$ R.

Schaltet man den Nebenschluss zwischen p u. p′, so erhält man $X = \frac{1}{10}$ R. Man wird diese Schaltungsweise wählen, sobald es sich um die Ermittlung kleinerer Widerstände handelt.

h. Über den Nachweis der Selbstinduktion mit Differentialgalvanometer siehe X.

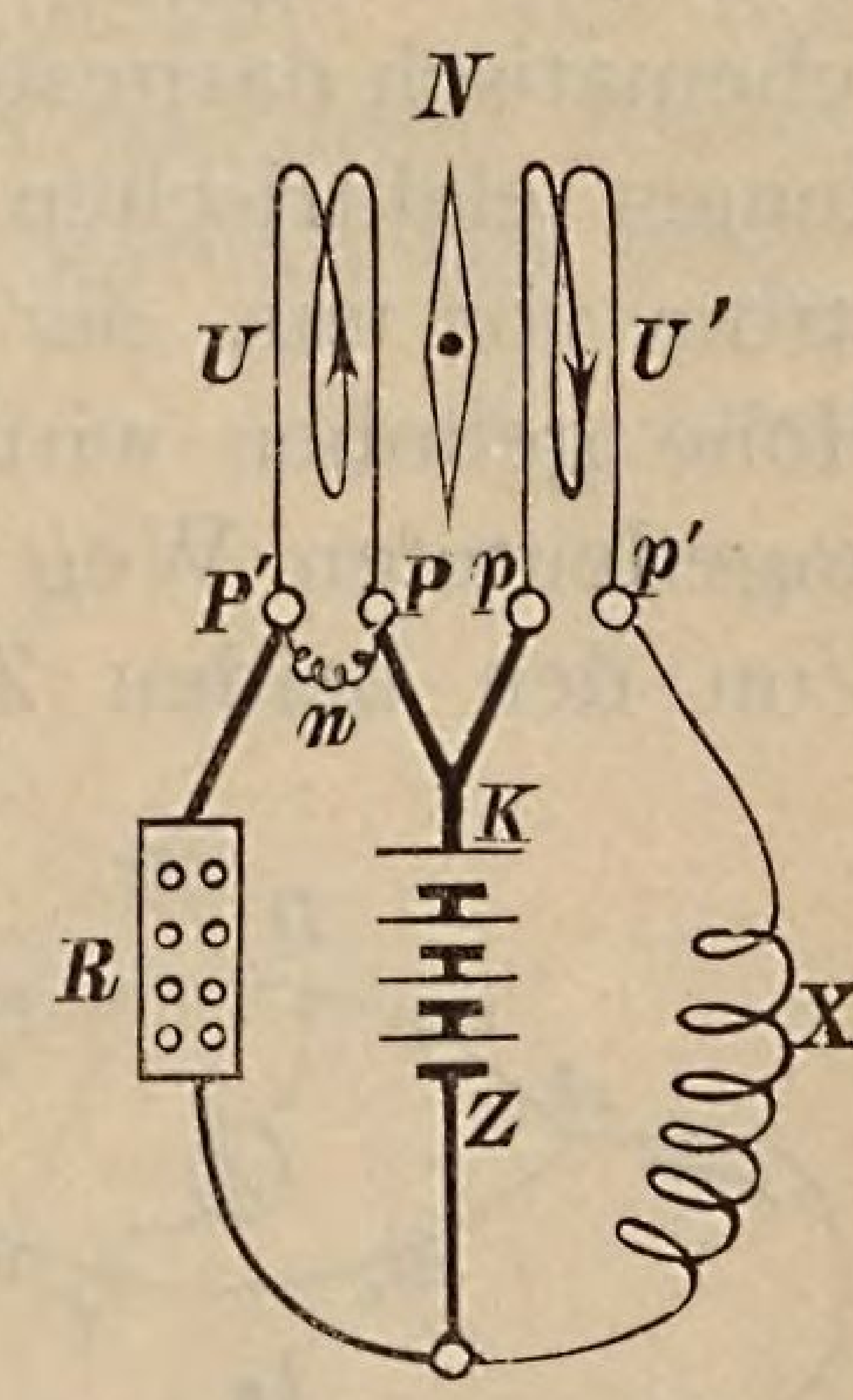


Fig. 332 b.

Eine andere bequeme und am häufigsten angewendete Methode zur Vergleichung der Widerstände erfordert zu ihrer Ausführung die

Messbrücke von Wheatstone (1849)

und ein gewöhnliches Galvanometer (Multiplikator.)

a. Princip der Brücke. Wenn ein Strom sich verzweigt, so können in zwei Zweigen stets zwei Punkte gefunden werden, zwischen denen kein Strom

weder herüber noch hinüber fliesst. Jeder dieser Punkte teilt seinen Zweig in zwei Teile und die Widerstände dieser Teile stehen in einem ganz bestimmten Verhältnis, so dass wir, wenn wir einen dieser Widerstände sowie das Verhältnis der beiden andern kennen, den vierten Widerstand berechnen können. (Fig. 333.)

Der einfachste Fall ist der in der Figur 333 schematisch dargestellte. Denken wir uns, wir hätten keinen elektrischen Strom, sondern einen Wasserstrom vor uns, der bei E durch eine Pumpe in die Höhe gehoben wird und der auf dem durch Pfeile angedeuteten Weg wieder zur Pumpe zurückfliesst. Von den beiden Zweigen soll der eine kurz, der

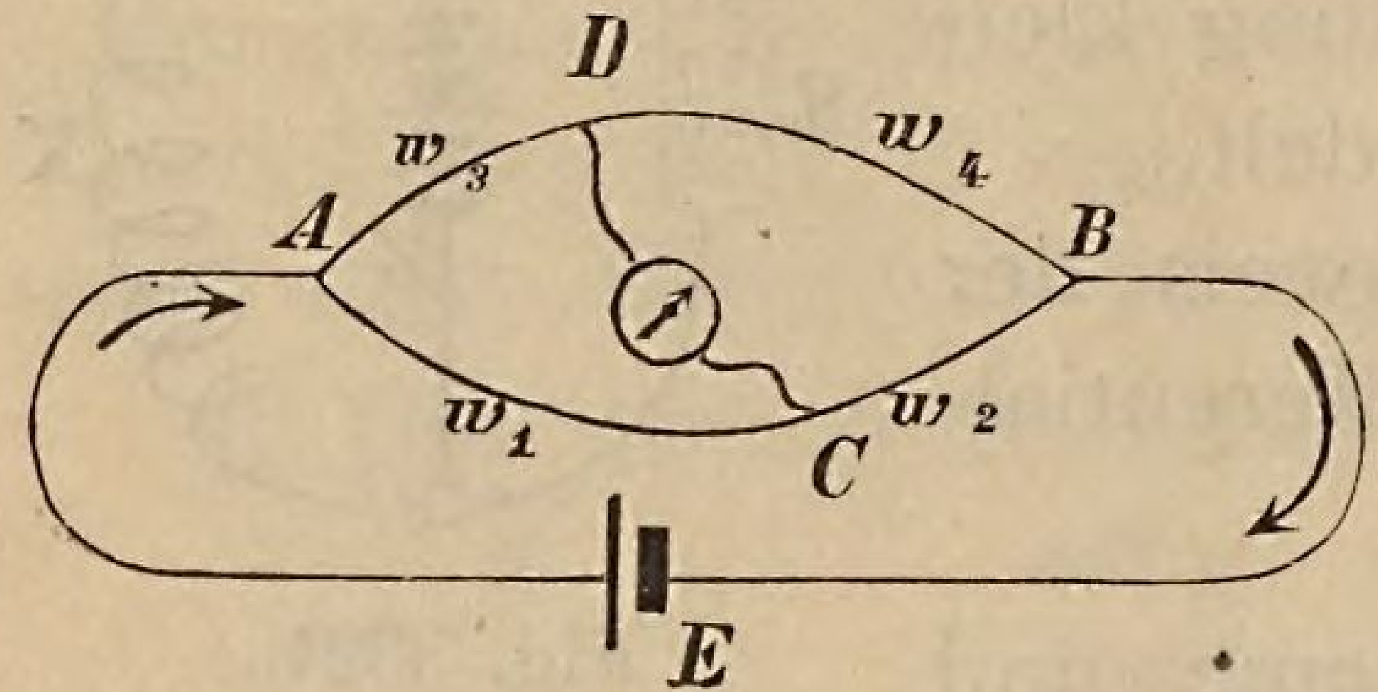


Fig. 333.

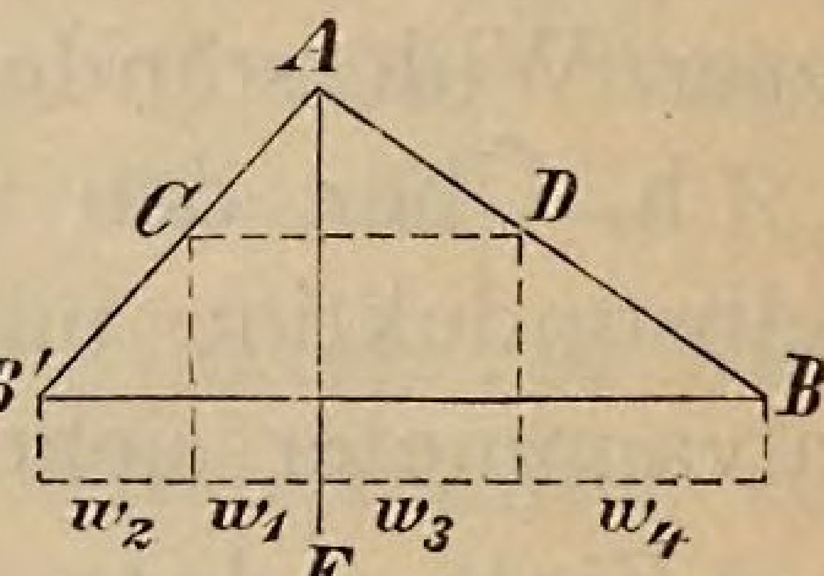


Fig. 334.

andere lang sein. Nehmen wir nun in dem einen Zweig irgend einen Punkt an, so wird am andern Zweig ein anderer Punkt existieren, welcher in derselben Höhe mit dem ersteren liegt. (Fig 334 C und D). Werden diese beiden Punkte durch eine Röhre mit einander verbunden, so wird in derselben keine Strömung stattfinden. Genau das gleiche ist mit dem elektrischen Strom der Fall (Fig. 333). Es soll nun C der eine Punkt sein, dem der Punkt D

des anderen Zweiges entspricht. Die Widerstände A C und C B sollen w_1 und w_2, die von A D und D B w_3 und w_4 sein; dann verhält sich nach Fig. 334 $w_1 : w_2 = w_3 : w_4$ und es gilt der Satz: Sind zwei Punkte C und D der angedeuteten Verzweigung durch einen Brückendraht verbunden, so fliesst in diesem Draht kein Strom, wenn die beiden Widerstände oberhalb der Brücke im gleichen Verhältnis stehen wie die Widerstände unterhalb. Aus dem Verschwinden des Stromes im Brückendraht ersehen wir also, dass die Gleichheit der Verhältnisse eingetreten ist.

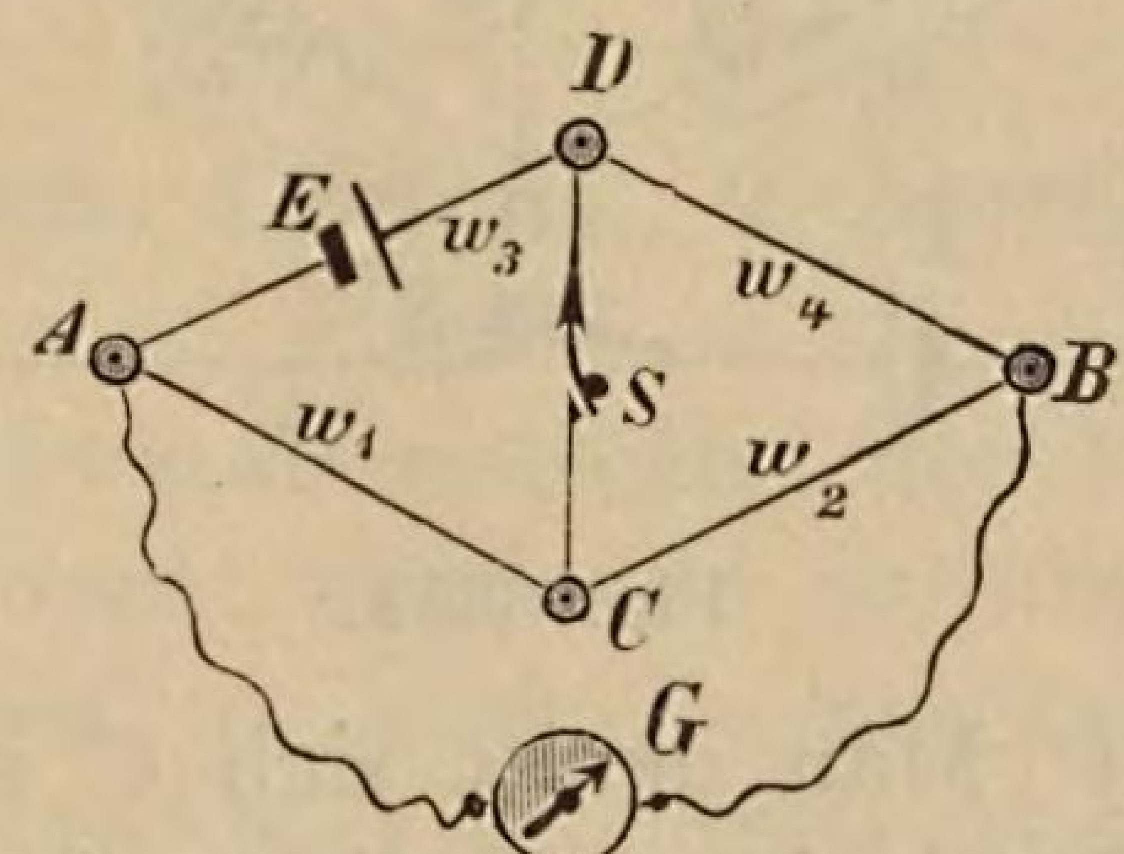


Fig. 335.

b. Einfachste Form der Brücke und Versuche. (Fig. 333 und 335.) Man schraube in ein Brett, etwa auf der Rückseite eines Reissbrettes, 4 Polklemmen (ohne Eisen) in Rauten- oder Rhombenform ein. Verbinde A C und C B durch gleiche Drähte; befestige zwischen A D einen bekannten Drahtwiderstand (statt E), etwa ein Ohm ein, so wird der zu untersuchende, zwischen D B eingeklemmt, den Widerstand 1 Ohm besitzen, wenn beim Niederdrücken des Schlüssels S das Galvanometer G keinen Stromdurchgang anzeigt.

Man mache das Verhältnis der Widerstände w_1 zu w_2 wie 1 : 2; so wird der Widerstand w_4 2 Ohm betragen, wenn w_3 1 Ohm geblieben ist.

In Fig. 335 a sind w_1 und w_3 durch Widerstandskasten gebildet, w_4 ist ein veränderlicher Widerstand von 1 bis 1000 Ohm und w_2 der gesuchte Widerstand.

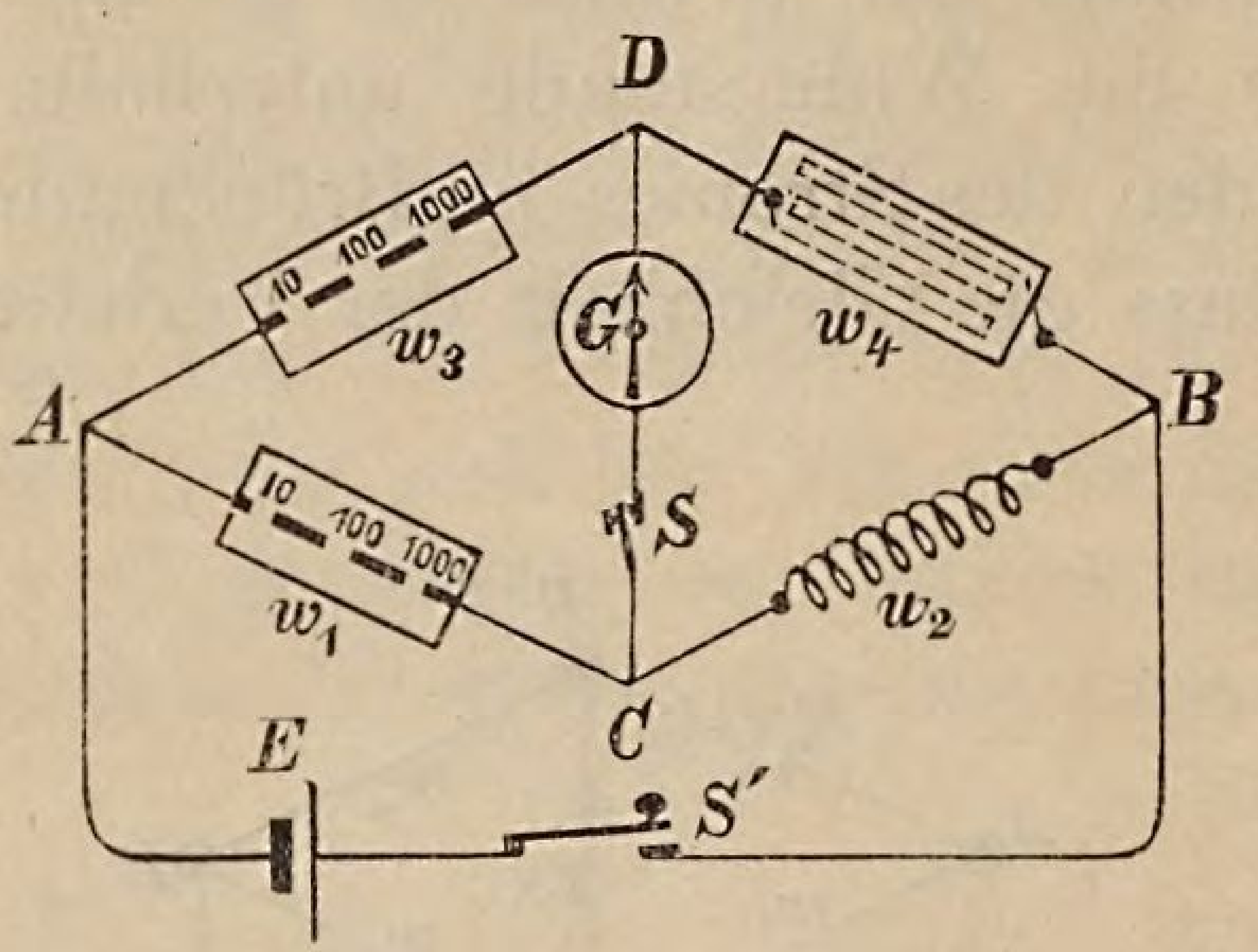


Fig. 335 a.

(Fig. 336.) Man denke sich C auf dem geradlinigen Neusilberdraht A B über einer Meterteilung

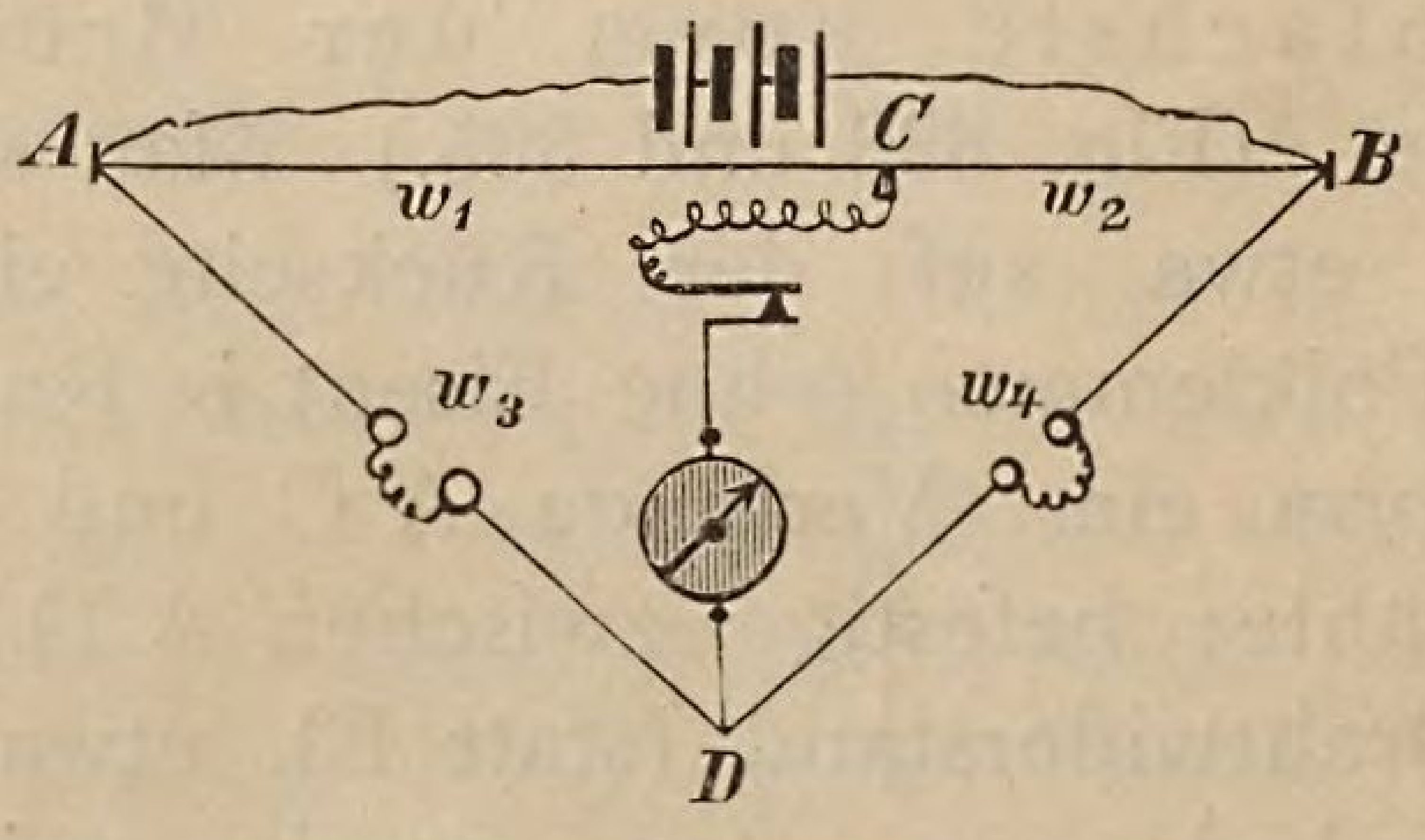
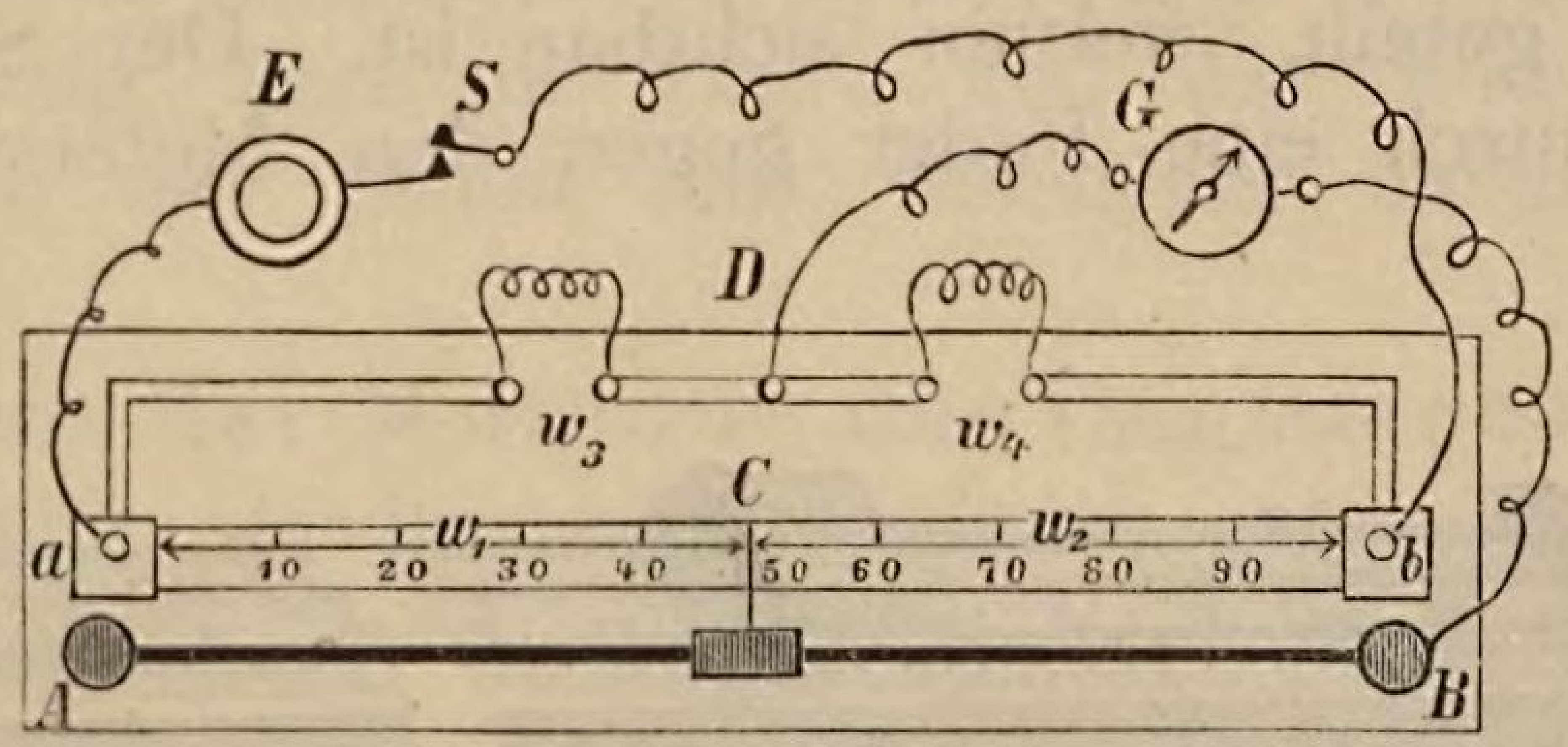


Fig. 336.

als Kontaktklemme verschiebbar, so wird man, so lange zwischen A D 1 Ohm Widerstand eingeschaltet

bleibt, in D B so viele Ohm Widerstand haben, als A C in C B enthalten ist.

c. Dies führt zu der Meterbrücke. Fig. 337. Ein dünner Neusilberdraht von 1 m Länge ist über einer in 100 gleiche Teile eingeteilten Papierskala



E Element; S Schlüssel; G Galvanometer.

Fig. 337.

oder einem Meterstab zwischen den Messingstücken a und b ausgespannt; auf dem 3 mm dicken, zwischen den Polklemmen A und B ausgespannten Messingdraht ist eine Kupfer- oder Messingröhre mit etwas Reibung verschiebbar, an dieses Rohr ist der Draht C angelötet, dieser lässt sich mit seiner Schneide auf den Draht ab niedersenken und durch ein aufgelötetes Gewicht (Bleikugel) wohl andrücken; zwischen a und dem Metallstück D, das 3 Polklemmen hat, und zwischen D und b werden die zu vergleichenden Widerstände eingeklemmt; der Brückendraht ist D G B; a C und C b bilden die bekannten, auf der Skala ablesbaren Verhältnisse.

Diese Brücke lässt sich auf einem Brette von etwa 110 cm Länge und 8 bis 10 cm Breite einrichten.

Für den Unterricht ist die Form der Fig. 337a zu empfehlen. Der Meterstab ist auf das Grundbrett geschraubt. Der Schieber hat zwei Zeiger; der eine schleift auf dem 1 m langen Neusilberdraht von 0,5 bis 1 mm Durchmesser und der zweite läuft auf der Seitenwand über einer Skala, die, in halbe Decimeter geteilt, weithin sichtbar ist. Der Schieber wird durch eine Feder gegen den Meterstab gepresst.

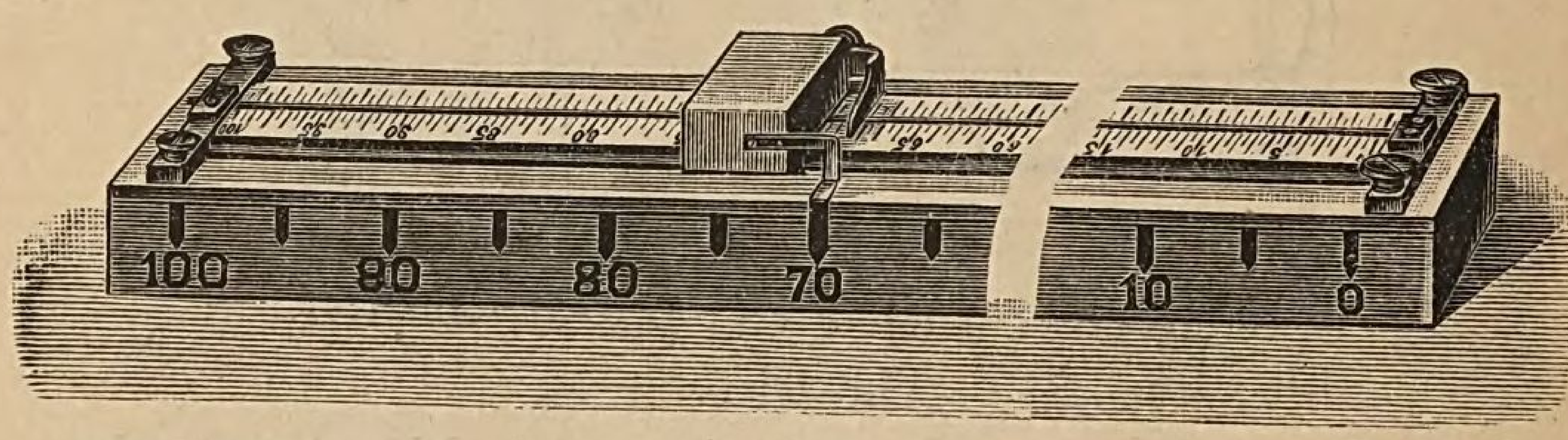


Fig. 337a.

c. Bestimmung des Widerstandes eines galvanischen Elementes nach Mance (Fig. 335.) Schaltet man in die eine Seite der Brücke das zu untersuchende Element E, in die eine Diagonale das Galvanometer G und reguliert man die Widerstände w_1, w_3, w_4 in den drei übrigen Seiten so lange, bis das Galvanometer den gleichen Ausschlag zeigt, einerlei ob in der zweiten Diagonale die Leitung bei S unterbrochen ist oder nicht; so ist der gesuchte Widerstand gleich dem Produkte der Widerstände in den zwei anstossenden Seiten, dividiert durch den Widerstand in der gegenüberliegenden Seite, also

$x = \frac{w_1 \cdot w_4}{w_2}$. Beispiel: $w_3 = x$; $w_1 = 1\ \Omega$,

$w_2 = 2\ \Omega$, $w_4 = 0{,}25\ \Omega$; $x = \frac{1 \cdot 0{,}25}{2} = 0{,}125\ \Omega$.

Diese Methode der Bestimmung innerer Widerstände von Elementen ist unabhängig von der Voraussetzung, dass die EMK und der Widerstand während der Dauer des Versuches unverändert bleiben.

Nach der Methode der Gegenschaltung (Fig. 339) werden zwei ähnliche galv. Elemente mit gleichen Polen verbunden, so dass sie keinen Strom geben. Nun wird der Widerstand beider gemessen wie der eines Drahtes. Der Widerstand eines Elementes ist die Hälfte des gemessenen.

d. Vergleichung von Widerständen. (Fig. 335 und 337.) Schaltet man in den Zweig a D (w_3) einen Widerstandskasten ein und zwischen b D (w_4) die zu vergleichenden Drähte, so lassen sich deren Widerstände durch Ziehen der Stöpsel oder Drehen der Kurbel ziemlich rasch bestimmen; der Kontaktstift C liegt dabei in der Mitte des Neusilberdrahtes auf. Der Strom wird durch den Schlüssel nur so lange geschlossen, bis die Nadel einen Ausschlag gegeben hat oder in Ruhe bleibt.

Wird in dem Widerstandskasten nicht eine Rolle gefunden, deren Widerstand mit dem des zu untersuchenden Drahtes übereinstimmt, so verschiebt man C, bis die Nadel beim Niederdrücken des Schlüssels in der Nulllage bleibt.

Beispiel: w_3 sei $= 10\ \Omega$ und der Neusilber-

draht $w_4 = x\ \Omega$; die Nadel bleibe in Ruhe, wenn C auf 58 mm von a aus liegt. Wie gross ist der Widerstand des Neusilberdrahtes?

Man hat:

$$w_1 : w_2 = w_3 : w_4$$
$$58 : (100-58) = 10 : x$$
$$58 \cdot x = 10 \cdot (100-58)$$
$$x = \frac{10 \cdot 42}{58} = 7{,}24\ \Omega.$$

e. Galvanometerwiderstände. Der Neusilberdraht könnte durch das Gewinde eines Galvanometers ersetzt sein und der Widerstand des Galvanometers wäre somit $= 7{,}24\ \Omega$.

(Fig. 338.) Hat man nur ein einziges Galvanometer zur Verfügung, so schaltet man es zur Bestimmung seines Widerstandes in einen Zweig ein, verwendet zwei Schlüssel S und S′ und verändert w_2, bis die Nadel keinen Ausschlag mehr giebt, einerlei ob man mit S oder S′ schliesst.

$$G = \frac{w_3}{w^1} \cdot w_2.$$

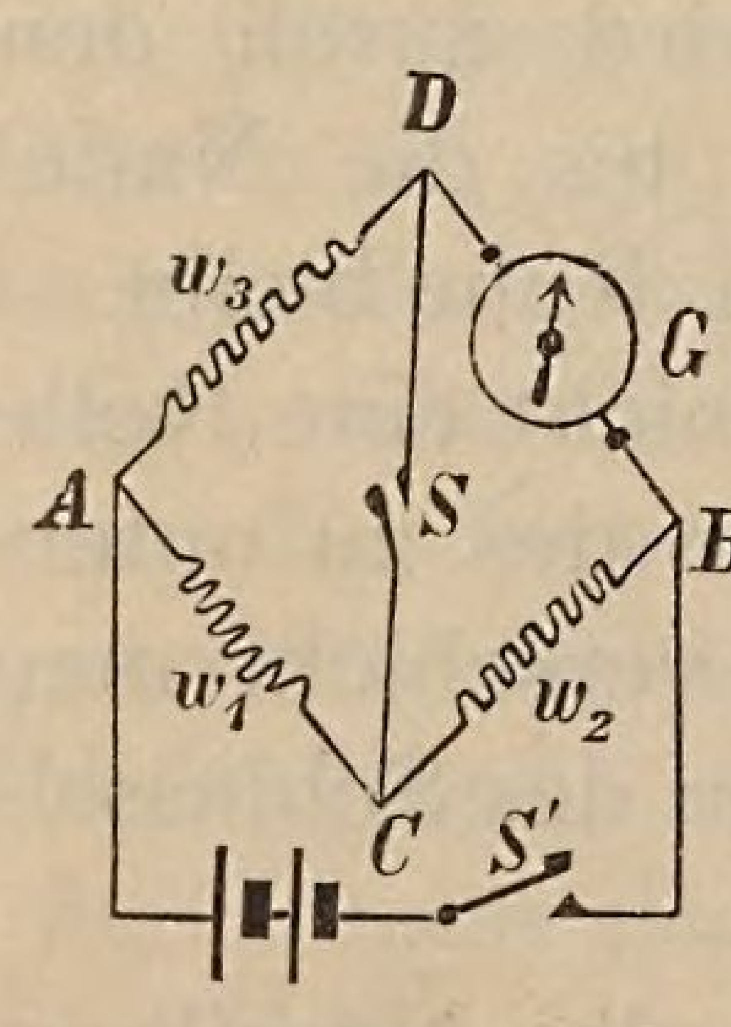


Fig. 338.

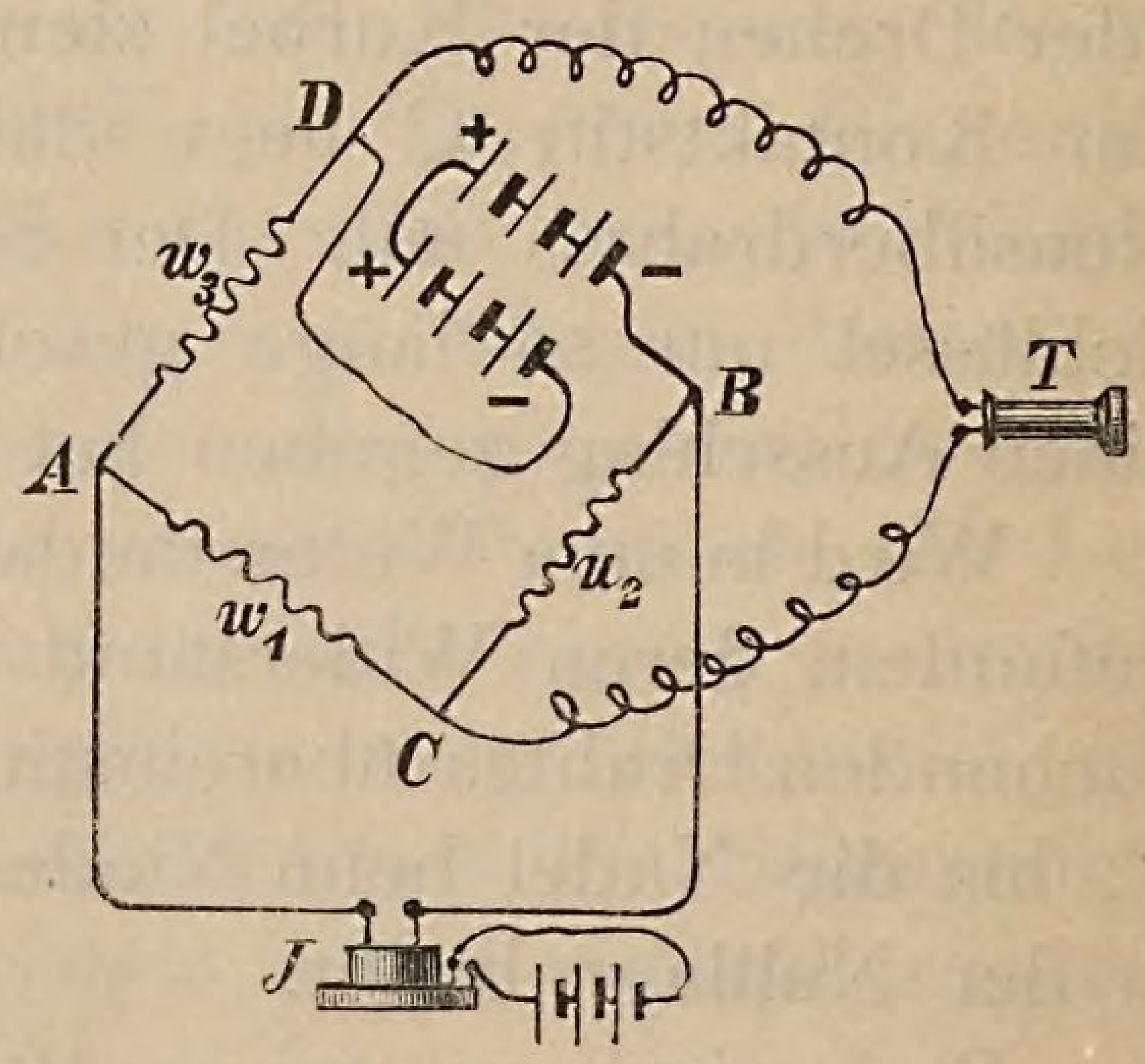


Fig. 339.

f. Die Brücke mit Wechselströmen. (Fig. 339.) Soll für die Brücke das oben abgeleitete einfache Verhältnis bestehen, so dürfen, wenn eine Batterie eingeschaltet ist, ausser in dem Diagonalzweig keine anderen E M Kräfte vorhanden sein. Die EMK der Batterie wird unwirksam, wenn ihre Hälften gegeneinander geschaltet sind. (Fig. 105.) Man verwendet aber dann zur Speisung der Brücke Wechselströme und schaltet im Diagonalzweig ein Telephon ein.

Ein kleiner Induktionsapparat J, der aber so weit entfernt steht, dass man sein Surren nicht hört, und eine grössere EMK besitzt als die zu untersuchende Batterie, liefert in seiner Induktionsrolle die Wechselströme. Man verändert den Widerstand w_3 so lange, bis das Telephon schweigt oder am schwächsten tönt; der Batteriewiderstand ist dann wieder $= \frac{w_2 \cdot w_3}{w_1}$.

Auch zu allen Messungen, die wir seither mit dem Galvanometer im Diagonalzweig ausgeführt haben, lassen sich Wechselströme und Telephon verwenden. Statt des Induktionsapparates kann man einen ganz still gehenden Stromwender — Walzenform — gebrauchen. Am einfachsten verfährt man, wenn man den einen zum Telephon gehenden Draht durchschneidet, das eine Ende mit einer Feile verbindet und während des Versuches mit dem andern über eine Feile streicht.

Regel. Batterie und Galvanoskop lassen sich vertauschen; man legt zur Erzielung der höchsten

Schärfe das Galvanoskop niemals in eine Diagonale, welche durch eine Ecke geht, wo die beiden kleinsten Widerstände zusammenstossen.

g. Bestimmung des Ausbreitungswiderstandes von Blitzableitern. Man unterscheidet Blitzableiter mit wenigen, hohen Auffangstangen, System Gay-Lussac-Franklin und solche mit niedrigen, aber zahlreichen Auffangspitzen, Blitzkämme, System Melsens, das zugleich das Gebäude mit einem Netz dünnerer Drähte überzieht. Für beide Systeme ist es von höchster Wichtigkeit, dass der Blitzschlag ohne beträchtlichen Widerstand zur Erde gelangen und sich darin ausbreiten kann. Diese Ausgleichung soll die Erdplatte von verzinktem Eisen oder von Kupfer mit 1 m^2 Seite im feuchten Erdreich vermitteln. Man misst den Widerstand des Übergangs der atmosphärischen Elektricität von der Platte zur Erde mit der Brücke oder dem Differentialgalvanometer, und es unterscheidet sich diese Messung nur darin von andern, dass man zwei Hilfserden verwendet. Man schlägt nämlich in 2 bis 3 m Entfernung vom Blitzableiter (der Erdplatte) zwei starke Eisenstangen etwa 1 m tief in die Erde, so dass die 3 Punkte die Ecken eines Dreiecks B, C, D bilden. Bei trockenem Wetter, und zu solcher Zeit hat man zu untersuchen, giesst man Wasser zu den Eisenstangen, imfalle sie auf zu trockenes Erdreich treffen. Den Apparat stellt man in die Mitte des Dreiecks und führt gleichlange Leitungsdrähte (Kupfer) zu den 3 Punkten. Es sei nun B der Ausbreitungswiderstand des Blitz-

ableiters, C und D die Ausbreitungswiderstände der Hilfserden und man habe gefunden

$$\begin{aligned} B + C &= x \text{ Ohm},\\ B + D &= y \text{ „ },\\ C + D &= z \text{ „ },\\ \hline \text{so ist } 2B + 2C + 2D &= x + y + z\\ B + C + D &= \frac{x + y + z}{2}\\ \text{Davon ab } C + D &= z\\ \hline \text{bleibt } B &= \frac{x + y + z}{2} - z. \end{aligned}$$

Daraus folgt die Regel:

Addiere die 3 gemessenen Widerstände, halbiere die Summe und ziehe den Widerstand der Hilfserden von der Summe ab; der Rest ist der Ausbeutungswiderstand der Erdplatte.

$$\begin{aligned} \text{Beispiel: } B + C &= 19 \text{ Ohm},\\ B + D &= 10 \text{ „ },\\ C + C &= 14 \text{ „ },\\ \hline 2B + 2C + 2D &= 43 \text{ „ }\\ B + C + D &= 21{,}5 \text{ „ }\\ C + D &= 14 \text{ „ }\\ \hline B &= 7{,}5 \text{ „ } \end{aligned}$$

Der Ausbreitungswiderstand einer gutgelegten Erdplatte soll 10 Ohm nicht übersteigen. Apparat, Elemente, B, Erde und C, bilden den einen Stromkreis; Apparat, Elemente, B, Erde und D den zweiten u. s. w. Der Strom löst sich in der Erde in Stromlinien auf, die sich z. B. von B aus verzweigen und bei C wieder vereinigen. Diese Stromlinien sind

mit den Kraftlinien zu vergleichen, die vom N-Pol zum S-Pol eines Magneten verlaufen. Wenn die Erde in der Telegraphie als Rückleitungsdraht verwendet wird, so findet ein ähnliches Ausbreiten der Ströme statt.

Gesetze der Stromverzweigung. Ohm 1827, Kirchhoff 1847.

Erstes Gesetz. An jedem Orte, an dem mehrere Drähte zusammenstossen, muss die Summe aller Stromstärken gleich Null sein. — An einem solchen Ort fliesst ebensoviel Elektricität zu als ab, denn sonst müsste daselbst eine Anhäufung von Elektricität stattfinden.

Zweites Gesetz. Bildet man in einem geschlossenen, verzweigten Stromkreise (Fig. 333, 335, 336, 340, 341), die Summe der Produkte aus Stromstärke mal Widerstand, so giebt die Summe dieser Produkte die EMK des Stromkreises an.

$$ir + i_1 r_1 + i_2 r_2 \ldots = JR = E.$$

Einfache Stromverzweigung. (Fig. 340 u. 341.) Nebenschlüsse, das Differentialgalvanometer und die Differentiallampe, die Nebenschluss- und die Doppelschlussmaschine, die Brücke, die Parallelschaltung der Lampen beruhen auf der Verzweigung eines elektrischen Stromes in Einzelströme.

Wird nun ein Strom S in mehrere Wege von den Widerständen $w_1, w_2, w_3 \ldots$, verzweigt und sind die Zweigströme entsprechend $s_1, s_2, s_3 \ldots$, so ist

1) die Summe der Zweigströme gleich dem unverzweigten Strom: $s_1 + s_2 + s_3 \ldots = S$.

2) Die einzelnen Zweigströme verhalten sich umgekehrt wie die Widerstände der entsprechenden Wege (oder gerade wie deren Leitungsvermögen);

$$s_1 : s_2 : s_3 \ldots = \frac{1}{w_1} : \frac{1}{w_2} : \frac{1}{w_3} \ldots$$

3) Das gesamte Leitungs-Vermögen des verzweigten Weges ist gleich der Summe der Leitungsvermögen der einzelnen Wege:

$$\frac{1}{w} = \frac{1}{w_1} + \frac{1}{w_2} + \frac{1}{w_3} \ldots$$

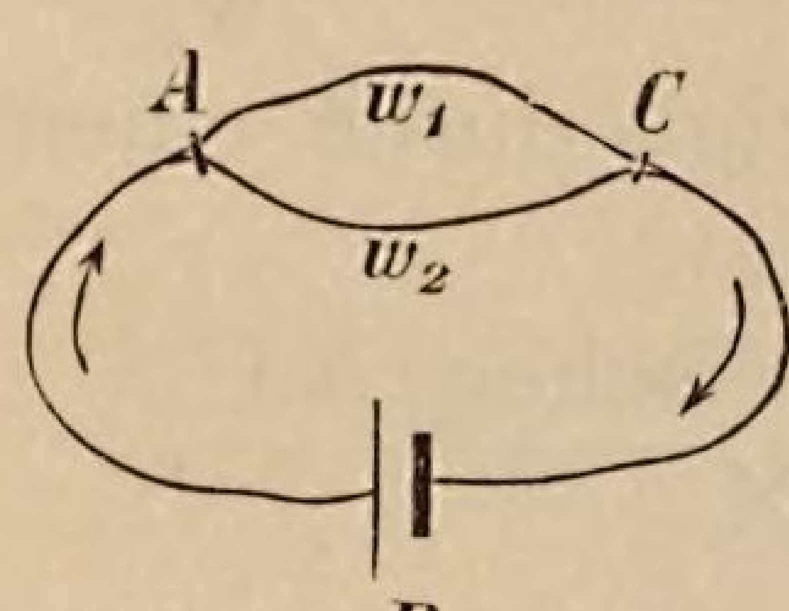


Fig. 340.

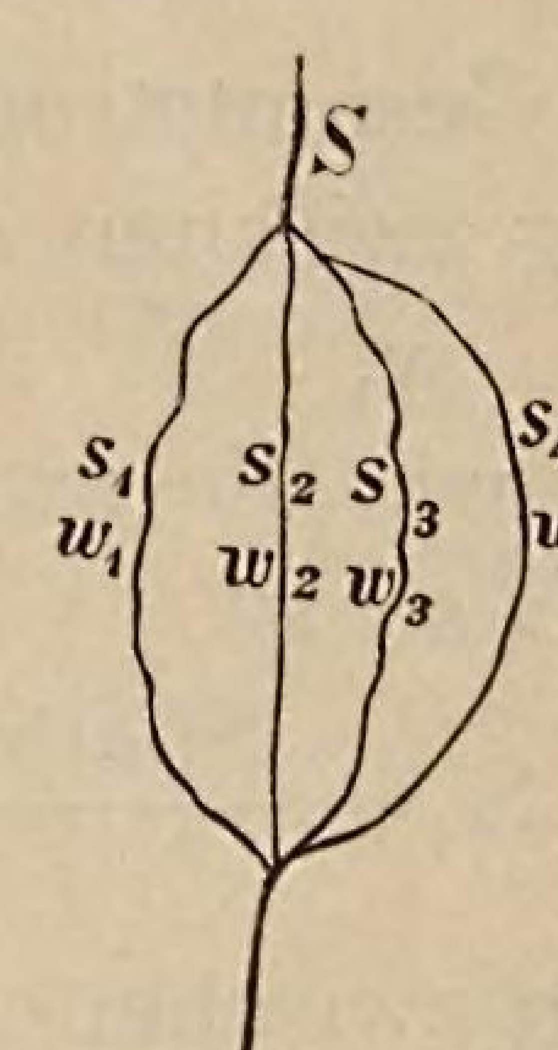


Fig. 341.

B e w e i s zu No. 2 und 3. (Fig. 340 u. 341.)

a. F ü r 2 L e i t e r (Fig. 340). Dem von A nach C fliessenden Strome bieten sich 2 Wege, der eine über A w_1 C und der andere über A w_2 C; haben diese gleiche Widerstände, so muss sich der Strom halbieren. Sind aber die Widerstände w_1 und w_2 ungleich, so teilt sich der Strom nach der Grösse dieser Widerstände und zwar ist die Stromstärke über w_1

$$= s_1 = \frac{\text{Spannung zwischen A C}}{\text{Widerstand } w_1};$$

für den anderen Zweig ist

$$s_2 = \frac{\text{Spannung zwischen A C}}{\text{Widerstand } w_2}.$$

Dividiert man diese Gleichungen durcheinander, so ist

$$\frac{s_1}{s_2} = \frac{w_2}{w_1}$$

Der Strom teilt sich also so, dass die Stromstärken in den Zweigen sich verhalten wie die umgekehrten zugehörigen Widerstände.

Die Gesamtstromstärke S ist $= s_1 + s_2 =$

$$\frac{\text{Spannung zwischen A C}}{w_1} + \frac{\text{Spannung zwischen A C}}{w_2}.$$

Ersetzen wir die zwei Zweige durch einen einzigen Leiter X, so ist

$$S = \frac{\text{Spannung zwischen A C}}{X} =$$

$$\frac{\text{Spannung zwischen A C}}{w_1} + \frac{\text{Spannung zwischen A C}}{w_2}$$

oder, da die Zähler der Brüche gleich sind:

$$\frac{1}{X} = \frac{1}{w_1} + \frac{1}{w_2}.$$

Entwickelt man diese Gleichung nach X, so erhält man

$$X = \frac{w_1 \cdot w_2}{w_1 + w_2}.$$

Der einzelne Leiter kann die Zweige ersetzen, wenn sein Widerstand gleich ist dem Quotienten aus dem Produkt dieser Widerstände, geteilt durch deren Summe.

Eine einfache Konstruktion, X aus w_1 und w_2 zu finden, zeigt Fig. 342 a. Auf einer Geraden errichte 2 Lote w_1 und w_2, die die Werte nach irgend einem Maassstab (mm, cm) darstellen, ziehe die Diagonalen, fälle von deren Schnittpunkt das Lot X und miss X mit demselben Maassstab.

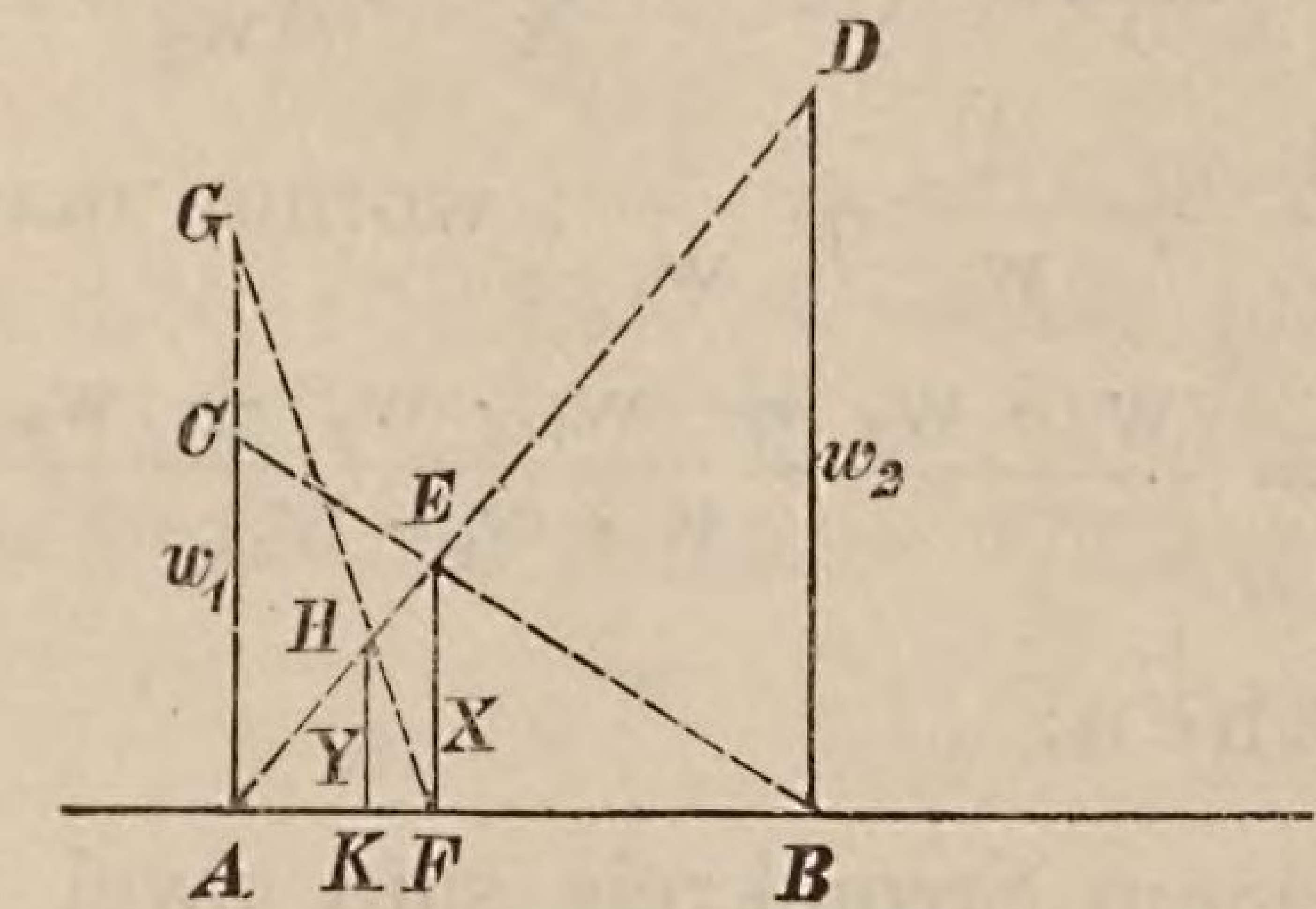


Fig. 342 a.

Beweis: Aus △ ABC folgt $\frac{X}{w_1} = \frac{FB}{AB}$;

„ △ ABD „ $\frac{X}{w_2} = \frac{AF}{AB}$;

beide Gleichungen addiert, giebt

$$\frac{X}{w_1} + \frac{X}{w_2} = \frac{FB + AB}{AB} = 1\,;$$

$$X\,w_2 + X\,w_1 = w_1 \cdot w_2$$

$$X = \frac{w_1 \cdot w_2}{w_1 + w_2}.$$

Ist noch ein dritter Zweig mit dem Widerstand w_3 vorhanden, so trage man diesen auf AC auf, er sei gleich AG; verfahre mit AG und EF wie vorhin; Y ist der gesuchte Widerstand der Verzweigung.

b. Für 3 Leiter: (Fig. 342.) Ersetzt man nach Obigen w_1 u. w_2 durch einen einzigen Leiter, so ist

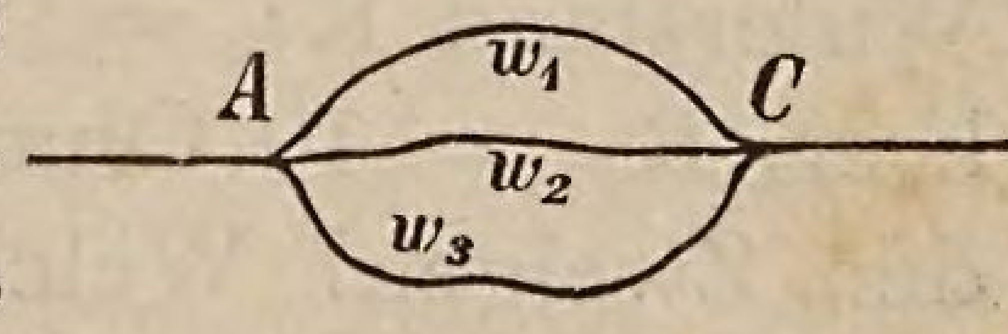


Fig. 342.

$$\frac{1}{X} = \frac{1}{w_1} + \frac{1}{w_2};$$

X und w_3 kann man wieder ersetzen durch den Leiter Y

$$\text{so ist } \frac{1}{Y} = \frac{1}{X} + \frac{1}{w_3};$$

$$\frac{1}{Y} = \frac{1}{w_1} + \frac{1}{w_2} + \frac{1}{w_3} \text{ : woraus man erhält}$$

$$Y = \frac{w_1 \cdot w_2 + w_1 \cdot w_3 + w_2 \cdot w_3}{w \cdot w_2 \cdot w_3}.$$

Aufgaben:

1. In einem Stromkreis sind zwei Glühlampen von 120 Ohm und 140 Ohm parallel geschaltet. Welchen Widerstand leisten sie?

$$X = \frac{120 \cdot 140}{120 + 140} = 64{,}6 \text{ Ohm.}$$

2. Drei Drähte von 5,5 von 18,0 und von 3,7 Ohm Widerstand sind parallel in einen Stromkreis eingeschaltet. Welchen Widerstand stellen sie dar?

$$Y = \frac{5{,}5 \cdot 18{,}0 \cdot 3{,}7}{5{,}5 + 18{,}0 + 3{,}7} = 13{,}47 \text{ Ohm.}$$

3. Eine Dynamomaschine erzeugt einen Strom von 18,1 Ampère. Der Anker hat einen Widerstand $R_a = 2{,}2$ Ohm, der Elektromagnet einen Widerstand $R_m = 18{,}5$ Ohm und der äussere Stromkreis $R_s = 10$ Ohm. Welcher Strom fliesst in beiden Zweigen? Welche Wärmemenge wird in jedem Zweig erzeugt?

$$\text{Nach No. 2 ist: } s_1 : s_2 = R_s : R_m$$
$$= 10 : 18{,}5$$
$$s_1 + s_2 : s_2 = 10 + 18{,}5 : 18{,}5$$
$$18{,}1 : s_2 = 28{,}5 : 18{,}5$$
$$s_2 = \frac{18{,}1 \cdot 18{,}5}{28{,}5} = 11{,}65 \text{ Amp.}$$
$$s = 6{,}36 \text{ Amp.}$$
$$W_{m1} = 6{,}35^2 \cdot 18{,}5 \cdot 0{,}24 = 179 \text{ g.-Cal.}$$
$$W_{m2} = 11{,}65^2 \cdot 10 \cdot 0{,}24 = 325{,}76 \text{ g.-Cal.}$$
$$W_{m3} = 18{,}1^2 \cdot 2{,}2 \cdot 0{,}24 = 173{,}2 \text{ g.-Cal.}$$

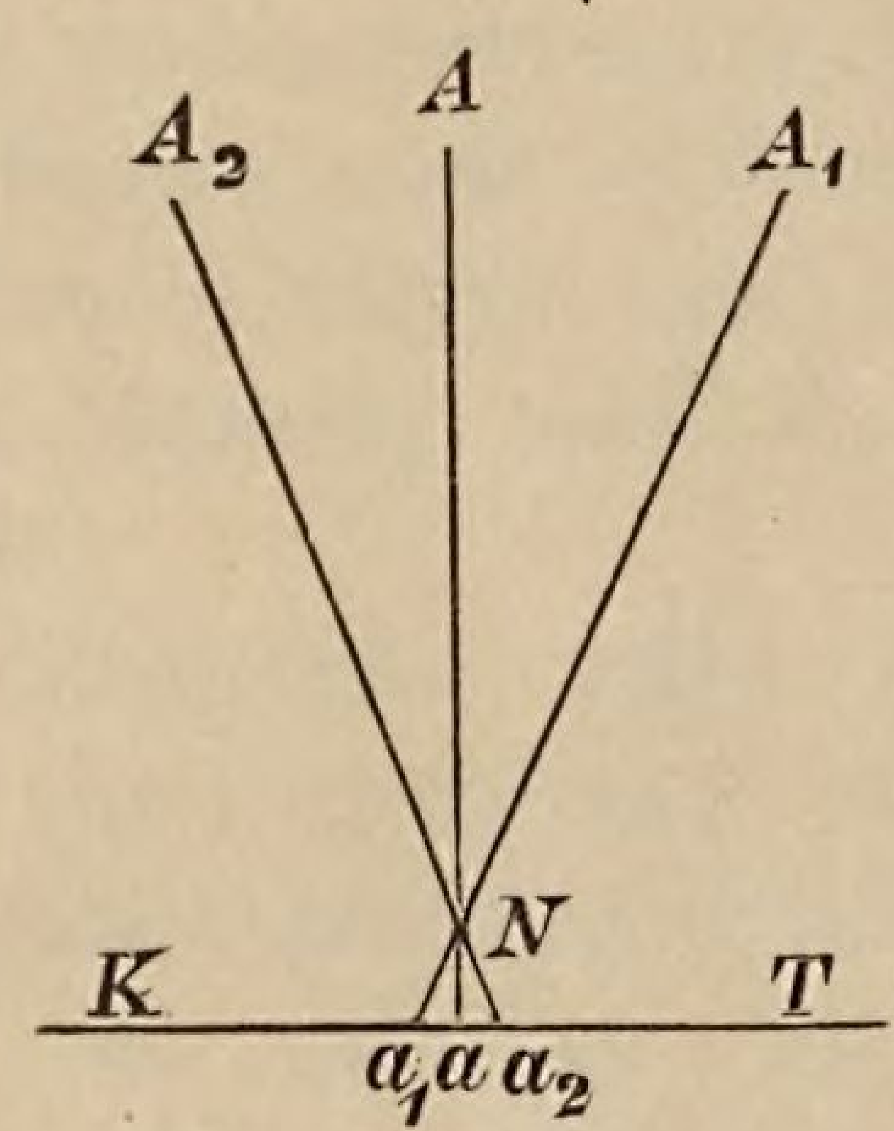


Fig. 343.

Parallaxe.

Es sei in Fig. 343 N die Spitze einer Galvanometernadel; dieselbe ist stets einen oder einige mm von der Kreisteilung KT entfernt. Wenn nun das Auge in A über N wegsieht, so dass die Visierlinie ANa senkrecht auf KT steht, so giebt a den richtigen Teilpunkt an. Aber das in A_1 oder A_2 befindliche Auge wird die Punkte a_1 oder a_2 ablesen; es entstehen also die Ablesefehler aa_1 und aa_2; diese Abweichungen von dem richtigen Teilpunkt nennt

man Parallelaxen. Um sie zu vermeiden, ätzt man die Kreisteilung auf Spiegelglas. Bei den Galvanometern für die Nullmethode, wie bei der Brücke und dem Differentialgalvanometer, genügt ein Stück Spiegelglas, das man unter die eine Nadelhälfte legt. Das Auge steht dann in A, wenn Nadel und ihr Spiegelbild sich decken.

Kapitel XVI.

Technische Notizen.

Begnügt sich der Elektriker anfänglich mit seinen rohen Apparaten, sofern sie nur funktionieren, so fühlt er doch mit der Zeit das Bedürfnis, dieselben etwas eleganter und anderen Personen vorzeigbarer herzustellen. Hierzu muss er wenigstens das Holz zu färben und zu lackieren und die frisch gefeilten oder gedrehten Messing- und Kupferstücke zu firnissen verstehen.

Das mit Glaspapier oder Bimstein glatt geriebene Holz wird entweder mit Kopalfirnis mit breitem Pinsel gleichförmig überfahren oder, um noch höheren Glanz zu erhalten, mit ziemlich dicker Schellacklösung und etwas Leinöl mittels Leinwandlappen poliert, was auf der Drehbank bei einiger Übung schnell zu erreichen ist. Beim Schreiner und Dreher zusehen fördert am meisten.

Weissem Holz erteilt man eine braunrote Färbung, indem man es mit einem Absud von gemahlenem Katechu heiss tränkt; nach dem Trocknen wird mit Glaspapier abgerieben, gefirnisst oder poliert.

Für Messing- und Kupfer stellt man einen Firnis aus einer klaren Lösung von Schellack in Weingeist her; für Messing setzt man eine weingeistige Lösung von Pikrinsäure zu; für Kupfer eine

weingeistige Lösung von Drachenblut. Der Firnis wird auf das erwärmte Metall (so warm, als man den Gegenstand noch in der Hand halten kann) mit breitem Pinsel recht gleichmässig in einem Zug aufgetragen.

Einen schwarzen, glänzenden Lack für Eisen liefert Asphalt, der mit Terpentinöl verdünnt ist; wird ebenfalls warm aufgetragen.

Andere Lacke für Metalle. Man löst 2 Teile Sandarac, 1 T. Kopallack, 1 T. Mastix und 1 T. Benzol in 8 T. Spiritus (96 %) und setzt der fertigen Lösung 1 T. Lärchenterpentin zu.

Oder: man löst 6 T. Sandarac und 3 T. Mastix in einer Mischung aus 6 T. Terpentinöl und 2 T. Lärchenterpentin; zu der fertigen Lösung giebt man 8 T. Spiritus, in welchem etwa noch Farbstoffe, wie Curcuma, Gutti oder Drachenblut in entsprechender Menge, je nach dem gewünschten Farbenton, aufgelöst werden.

Messing schwarz beizen.

Eine schöne schwarze Farbe, die bis zu lichtbraun abgeändert werden kann, erhält man auf Messing, wenn man diesen in einer ammoniakalischen Kupferlösung behandelt; man löst 1 Teil Kupfernitrat (salpetersaures Kupfer) in 2 Teilen Ammoniak vom specifischen Gewicht 0,96 und hält die Lösung kühl. Die Messingartikel, die sehr sorgfältig gereinigt sein müssen, erlangen beim Eintauchen einen lichten Ton, der aber beim Eintauchen von einigen Stunden tief schwarz wird. Ein Glanz kann den Artikeln verliehen werden, wenn man sie mit ein wenig Wachs oder Vaselin einreibt. Mit Chlor-

wasserstoff- oder Salzsäure kann die schwarze Farbe wieder lichter gebeizt werden. Die Zusammensetzung des Messings hat Einfluss auf die Färbung, welche an japanesische Bronze erinnert, die vielleicht auf ähnliche Weise hergestellt wird.

Lötmetalle.

1 T. Zinn, 3 T. Blei, grobes Bleilot; Flussmittel Kolophonium oder Lötwasser; schmilzt bei 425° C.

1 T. Zinn, 2 T. Blei, gewöhnliches Bleilot; K. oder Lötwasser, 226° C.

1 T. Zinn, 1 T. Blei, besonders gut; K. oder Lötwasser, 198° C.

1,5 T. Zinn, 1 T. Blei, Zinnlot; K. oder Lötwasser, 168° C.

2 T. Zinn, 1 T. Blei, besonders gut; K. oder Lötwasser, 171° C.

19 T. Silber, 1 T. Kupfer, 1 T. Messing; Silberlot für Goldarbeiter, Borax.

5 T. Silber, 5 T. Messing, 5 T. Zinn, leicht schmelzbar, Borax.

4 T. Blei, 4 T. Zinn, 1 T. Wismut, K. oder Lötwasser, 160° C.

2 T. Blei, 5 T. Zinn, 3 T. Wismut, K. oder Lötwasser, 111° C.

Behandlung der Apparate; Fehlerquellen.

Jeder exakt angestellte Versuch setzt eine mechanische Fertigkeit voraus. Ein schlecht ausgeführter Versuch lässt sogar die bestbegründete Naturwahrheit zweifelhaft erscheinen. Mit der Einübung der mechanischen Geschicklichkeit lernt man auch allmählich die Beobachtungssinne schärfen.

Die nächst folgende Bedingung zur Erlangung sicherer Resultate sind gute, nicht gerade elegante, aber wohl funktionierende Apparate. Je einfacher ein Apparat ist, desto leichter sind die mit ihm anzustellenden Versuche zu verfolgen.

Ehe ein Versuch beginnt, müssen die anzuwendenden Apparate in allen ihren einzelnen Teilen untersucht werden, ob dieselben nicht durch Staub und Hitze gelitten haben, ob alles noch fest, nichts abgesprungen ist u. s. w.; dann folgt eine Reinigung. Glasgefässe werden mit Fliesspapier und Weingeist, Messing mit Leinwand, Kreide und Weingeist, Eisen mit Fliesspapier und Baumöl, gefirnisste Gegenstände mit Leinwand gereinigt.

Hierauf hat man die Aufstellung vorzunehmen, hat dabei auf Festigkeit des Standes, sowie auf solche Aufstellung zu achten, dass äussere Einflüsse (Luftzug) vermieden werden und dass an der Stelle, wo Ablesungen gemacht werden, gehöriges Licht hinfällt. Bei einfacheren Apparaten bedient man sich zur Erreichung des horizontalen und vertikalen Standes der Wasserwage und des Senkbleis.

Ein jeder einzelne, einigermaassen zusammengesetzte Apparat hat seine, in der Regel nur ihm eigentümlichen Unsicherheiten und Eigenschaften, welche eine besondere Behandlungsweise desselben erfordern. Hierüber können bloss Vorversuche Aufschluss geben.

Bei Feststellung der Resultate kommen deren, Fehler in Betracht. Dieselben können konstante oder unregelmässige sein. Die konstanten Fehler sind Folge von äusseren Einflüssen, wie Reibung

Temperaturerhöhung, Wärmeverluste u. s. w., die unregelmässigen werden unter dem Namen Beobachtungsfehler begriffen, solche sind z. B. verschiedene Ablesungen in den Galvanometern. Zur Vermeidung der Beobachtungsfehler benützt man Beobachtungsreihen. Vergl.: Graphische Darstellung der Resultate.

Bearbeitung von Glas.

Kleinere Glasarbeiten können mit der Lötrohrflamme ausgeführt werden, erfordern aber meistens eine bedeutende mechanische Übung.

Das Ausziehen einer Glasröhre ist schon bei der Anfertigung von Glashütchen angegeben worden. Am Ende zieht man eine Röhre aus, indem man eine erhitzte andere Glasröhre ansetzt.

Das Erweitern einer Glasröhre an einem Ende geschieht durch Erwärmung derselben und Ausbiegen mittels eines erwärmten Eisenstäbchens oder eines dreieckig zugeschnittenen Eisenbleches. Das Erweitern kommt vor beim Zusammenschmelzen zweier Glasröhren, wo die engere zum Durchmesser der weiteren an der Verbindungsstelle erweitert werden soll.

Beim Biegen vermeide man zu starkes Erhitzen, biege langsam in weitem Bogen bei breiter Flamme, damit auf der inneren Seite keine Wülste entstehen. Dickere Röhren füllt man vor dem Biegen mit trockenem Sand.

Abgesprengt werden dünne Glasröhren, indem man an der Bruchstelle mit einer Feile ritzt und dann zerrend abbricht. Bei weiteren Röhren ritzt man gleichfalls mit der Feile und setzt dann

einen sehr heissen schweren Messerlötkolben auf, dessen Bewegung der Riss folgt; oder legt man einen weichen ziemlich dicken Kupferdraht um, macht einerseits eine Würgstelle, erhitzt diese mit der Weingeistlampe und tröpfelt dann Wasser um den Draht. Hat man den nötigen elektrischen Strom, so legt man einen Kupfer- oder Platindraht um, bringt diesen zum Glühen und spritzt dann wieder Wasser auf.

Um eine Kugel am einen Ende anzublasen, macht man dieses Ende so lange rotglühend, bis sie sich schliesst und eine Glasmasse sich ansammelt; man bläst dann ausserhalb der Flamme unter fortwährendem Umdrehen zuerst schwächer und allmählich stärker.

Kapitel XVII.

Die Einheiten des absoluten Maasssystems.

Elektrikerkongress in Paris 1884 und Chicago 1893.

A. Grundmaasse.

Die Längeneinheit ist das Centimeter cm, die Masseneinheit das Gramm g und die Zeiteinheit die Sekunde sec.

B. Mechanische Grössen.

Ein Körper besitzt die Einheit der Geschwindigkeit, wenn er sich in 1 Sek. um 1 cm fortbewegt.

Zeichen für Geschwindigkeit v (velocitas).

Ein Körper besitzt die Einheit der Beschleunigung oder Geschwindigkeitszunahme, wenn seine Geschwindigkeit in 1 Sekunde um 1 cm zunimmt.

Zeichen A.

Die Einheit der Kraft, das Dyn oder die Dyne, ist diejenige Kraft, welche der Masse eines Grammes die Einheit der Beschleunigung erteilt. Zeichen für Kraft F, f (force). 1 Dyn nahezu gleich dem Druck von 1 mg; 1 g = 981 Dyn.

Die Einheit der Arbeit oder die Einheit der Energie, das Erg, wird von der Kraft 1 Dyn geleistet, wenn diese ihren Angriffspunkt in der Sek. um 1 cm in ihrer Richtung verschiebt.

Zeichen W (das Werk, work).

Die Zeitarbeit (die Leistung, der Effekt) verrichtet ein Motor, wenn er in 1 Sek. eine Arbeit von 1 Erg leistet.

Zeichen für die Leistung P. (power; pouvoir).

Die Einheit des Drucks oder der Spannung wird ausgeübt, wenn ein Dyn auf ein Quadratcentimeter (1 cm^2) wirkt.

Zeichen für Druck p (pondus, le poids Gewicht).

C. Magnetische Einheiten.

Derjenige Pol besitzt die Einheit des Magnetismus, welcher einen gleichen Pol in der Entfernung 1 cm mit der Kraft 1 Dyn abstösst. Zeichen für magnetische Menge, Polstärke 𝔪.

Ein magnetisches Feld besitzt da die Einheit der magnetischen Kraft, wo es auf einen Einheitspol mit der Kraft 1 Dyn wirkt.

Zeichen für Feldstärke u. magnetische Kraft 𝔥.

Zeichen für den magnetischen Fluss oder die Anzahl der Kraftlinien 𝔖.

Zeichen für magnetische Induktion auf 1 cm^2 𝔅.

Zeichen für die magnetisierende oder magnetmotorische Kraft 𝔉.

D. Elektrische Einheiten.

1. Im elektrostatischen System ESE.

Die Einheit der Elektricitätsmenge ist diejenige Menge, welche auf eine ihr gleiche in der Entfernung 1 cm mit der Kraft 1 Dyn wirkt.

Zeichen für Elektricitätsmenge q (la quantité).

Die Einheit der Elektricitätsmenge erzeugt in 1 cm Entfernung die Einheit des Potentials (der Spannung).

Zeichen der Spannung e.

Ein Kondensator besitzt die Einheit der Kapacität, wenn beide Belege mit der Einheitsmenge be-

laden sind und wenn deren Spannungsunterschied der Einheit gleich ist.

Zeichen der Kapacität c.

2. Im elektromagnetischen System EME. Die Einheit der Strommenge oder Stromstärke hat derjenige Strom, welcher einen Kreisbogen von 1 cm Länge und 1 cm Radius durchfliesst und auf den im Mittelpunkt befindlichen magnetischen Einheitspol mit der Kraft 1 Dyn wirkt.

Zeichen der Stromstärke J, i (Intensität).

Die Einheit der Elektricitätsmenge ist diejenige Menge, welche in 1 Sek. durch irgend einen Querschnitt eines Leiters geht, in welchem die Stromeinheit fliesst.

Zeichen der Elektricitätsmenge Q.

Die Einheit der elektromotorischen Kraft (Spannung) soll der Einheitsmenge die Energie (Arbeitsfähigkeit) von 1 Erg erteilen.

Zeichen der EMK E.

Die Einheit des Widerstandes besitzt ein Leiter, in welchem die Stromeinheit in 1 Sek. 1 Erg (als Wärme) ausgiebt.

Zeichen des Widerstandes R, r (la résistance).

„ „ spec. Widerstandes ϱ.

Ein Kondensator besitzt die Einheit der Kapacität, wenn beide Belege mit der Einheitsmenge beladen sind und wenn deren Spannungsunterschied der Einheit gleich ist.

Zeichen der Kapacität C.

E. Praktische Einheiten.

Ein Ohm ist gleich 10^9 EME des Widerstandes, 100 Millionen mal grösser als die absolute Einheit und

gleich dem Widerstand einer Quecksilbersäule von 106,3 cm Länge, 1 mm^2 Querschnitt und 14,492 g Masse.

Ein Volt V ist die Einheit der EMK, Potential-Differenz, Spannung und gleich 10^8 EME, d. h. 10 Millionen mal so gross als die absolute Einheit und nahezu gleich der Spannung eines Daniell-Elementes und $\frac{1}{300}$ der elektrostatischen Spannungseinheit.

Ein Ampère A ist der 10. Teil der absoluten Stromeinheit, also gleich 10^{-1} EME.

Eine Farad F ist der 100 Millionste Teil der absoluten Kapacitätseinheit oder gleich 10^{-9} EME.

Ein Volt-Ampère oder Watt $W = 10^8 \cdot \frac{1}{10} = 10^7$ Erg ($= 0{,}102$ kgm $= \frac{1}{736}$ PS), ist die Einheit der Leistung in 1 Sek.

Die Einheit der Selbst-Induktion ist das Henry L, gleich der Induktion eines Stromkreises, in welchem die EMK von 1 V induciert wird, wenn der inducierende Strom sich um 1 Amp. in der Sekunde ändert.

F. Wärme-Einheit.

Eine Klein-Kalorie ist diejenige Wärmemenge, welche man einem g Wasser zuführen muss, um seine Temperatur in 1° C. zu erhöhen. 1 g-Kal. leistet so viel Arbeit als 4,2 V-A.

Griechisches Alphabet.

α alpha, β beta, γ gamma, δ delta, ε epsilon, ζ zeta, η eta, ϑ theta, ι jota, $\varkappa$ kappa, γ lamda. μ mi, v ni, ξ xi. o omikron, π pi, ϱ rho, σ sigma, τ tau, v ypsilon, φ phi, χ chi, ψ psi, ω Ω omega.

Übersicht der wichtigsten Litteratur.

Albrecht, G., Geschichte der Elektricität mit Berücksichtigung ihrer Anwendungen. 8⁰, 336 S. mit Abbild. Wien 1885. 3 *M*. Hartleben.

Anleitung zum Bau elektrischer Haustelegraphen-, Telephon- und Blitzableiter-Anlagen. Aktien-Gesellschaft Mix und Genest. 3. Aufl. gr. 8⁰. XIV 327 S. mit 431 Abbild. Berlin 1894. geb. 5 *M*. Polyt. Bh.

Arnold, E., die Ankerwicklungen der Gleichstrom-Dynamomaschinen. Entwicklung und Anwendung einer allgemein gültigen Schaltungsregel. 8⁰. VI u. 129 S. mit zahlreichen Fig. Berlin 1896. 2. Aufl. geb. 5 *M*. Springer.

Auerbach, Prof. Dr., die dynamoelektrischen Maschinen. 8, XVI u. 288 S. mit 99 Illustr. Wien 1893. 3 *M*. Hartleben.

Beschreibung, Aufstellung, Behandlung und Schaltung von Accumulatoren der Accumulatoren-Fabrik Akt.-Ges. Hagen in W., 1891. geb. 3 *M*. Act.-Ges.

Blitzgefahr, Die, I. Mitteilungen und Ratschläge betreffend die Anlage von Blitzableitern für Gebäude. Herausgegeb. im Auftrage des elektrotechn. Vereins. 8⁰. Berlin 1886. 60 ₰. Springer. II. Einfluss der Gas- und Wasserleitungen auf die Blitzgefahr. gr. 8⁰, 43 S. Berlin 1891. 80 ₰. Springer.

Bohmeyer, C., Anleitung zur Aufstellung und Behandlung elektrischer Uhren. gr. 8⁰, V u. 94 S. mit Abb. 2,50 *M*. Berlin, Kühl.

Braun, Prof. Dr. F., über elektr. Kraftübertragung, insbesondere über Drehstrom. Experimentalvortrag. gr. 8⁰, III und 38 S. mit 14 Figuren. Tübingen 1892. 1 *M*. Laupp.

Canter, O., die Haus- und Hôtel-Telegraphie. 2. Aufl. 8⁰, 239 S. mit 114 Abbild. Wien 1889. 3 *M*. Hartleben.

Carhart, Prof. Henry S., die Primär-Elemente. Dargestellt auf Grundlage der Erfahrung. Übersetzt und erweitert von Dr. P. Schoop, mit vielen Abbild. Halle 1895. 8 *M*. Knapp.

Elbs, Prof. Dr. K., die Accumulatoren. Eine gemeinfassliche Darstellung ihrer Wirkungsweise, Leistung und Behandlung. VIII und 35 S. mit 3 Textfig. Leipzig 1893. 1 *M*. Barth.

Ewing, Prof. J. A., magnetische Induktion in Eisen und verwandten Metallen. Deutsch von Dr. L. Holborn und Dr. St. Lindeck. 8°. XIII u. 338 S. m. 163 Abb. Berlin 1893. geb. 8 *M*. Springer.

Exner, Prof. F., über transportable Apparate zur Beobachtung der atmosphärischen Elektricität. gr. 8°. 17 S. 1887. 40 ₰. Tempsky.

Fiedler, F., die Zeittelegraphen und die elektr. Uhren vom prakt. Standpunkte. XVI u. 207 S. mit 85 Abb. Wien 1890. 3 *M* Hartleben.

Fischer-Hinnen, Ing. J., die Berechnung und Wirkungskreise elektr. Gleichstrom-Maschinen. 2. Aufl. gr. 8°. VII und 169 S. mit 54 Textfig. u. 1 lithogr. Taf. Zürich 1892. 4,60 *M*. Meyer u. Z. 3. Aufl. 1897.

Fodor, E., die elektr. Motoren mit besond. Berücksichtig. der elektr. Strassenbahnen. 8°. VI, 221 S. m. 64 Abb. Wien 1890. 3 *M*. Hartleben.

Fröhlich, Dr. O., Handbuch der Elektr. u. des Magnetism. Für Techniker bearbeitet. Mit vielen Holzschnitten und 2 Taf. 2. verm. u. verb. Aufl. gr. 8°. XIV u. 508 S. Berlin 1887. 15 *M*. Springer.

Gaisberg, Ing. S. Freih. von, Taschenbuch für Monteure elektr. Beleuchtungsanlagen. 10. Aufl. 8°. VIII u. 161 S. mit 131 Abb. München. geb. 2,50 *M* Oldenbourg.

Grätz, Dr. Z., die Elektricität und ihre Anwendungen zur Beleuchtung, Kraftübertragung, Energieverteilung, Metallurgie, Telegraphie und Telephonie. 5. Aufl. gr. 8°. VIII u. 511 S. mit 377 Abb. Stuttgart 1895. 7 *M*. Engelhorn.

Grawinkel, C. u. Dr. K. **Strecker,** Hilfsbuch für Elektrotechnik. 4. Aufl. 8°. X u. 690 S. mit Abb. Berlin 1894. geb. 12 *M*. Springer.

Hauck, W. Ph., die galv. Batterien, Accumulatoren und Thermosäulen. 3. Aufl. 8°. VI, 320 S. mit 98 Abbild. Wien 1890. 3 *M*. Hartleben.

Heim, Prof. Dr. C., die Einrichtung elektr. Beleuchtungsanlagen

für Gleichstrombetrieb. gr. 8^0. 503 S. m. über 300 Abb. 1895. 2. Aufl. 10 *M*. Leipzig. Leiner.

Holtzt, Ing. Dir. Alfr., die Schule des Elektrotechnikers. Lehrhefte für die angewandte Elektricitätslehre. Herausgegeben im Verein mit den Lehrern H. Vieweger und H. Stapelfeld. (In ca. 40 Heften) à 75 ₰. Leipzig. Schäfer.

Jamieson, Prof. A., Elemente des Magnetism. u. der Elektr. Insbesondere für angehende Elektrotechniker. Übersetzt und mit Zusätzen versehen von Dr. J. Kollert. gr. 8^0. XVI, 480 S. m. 330 Fig. u. 1 Taf. Leipzig 1891. 8,40 *M*. Quandt u. H.

Japing, E. u. **Schwartze,** Th., die Elektrolyse, Galvanoplastik und Reinmetallgewinnung. 8^0. VI, 260 S. mit 46 Illustr. Wien 1883. 3 *M*. Hartleben.

Kapp, Gisb., Dynamomaschinen für Gleich- und Wechselstrom und Transformatoren. Deutsch von Dr. L. Holborn und Dr. K. Kahle. 8^0. VIII, 331 S. m. 137 Fig. Berlin 1894. geb. 7 *M*. Springer.

Kittler, Prof. Dr. E., Handbuch der Elektrotechnik. I. Band. 2. verb. Aufl. gr. 8^0. VIII, 1007 S., 647 Abb. Stuttgart 1893. 40 *M*. Enke. II. Band. 1. Hälfte. 324 S., 200 Holzschn. Stuttg. 1889. 10 *M*. Enke.

Klasen, Ing. Ludw., die Blitzableiter in ihrer Konstruktion und Anlage. 2. Aufl. 8^0. 66 Fig. Dresden 1895. 2,80 *M*. Kühtmann.

Kleyer, Ing. Dr. A., die elektr. Erscheinungen und Wirkungen in Theorie und Praxis, nebst Anhängen von gelösten Aufg. u. Berechnungen. Mit vielen Holzschnitten und Tafeln. gr. 8^0. Heft 1—168, 1300 Abb. Stuttgart 1884—92. à Heft 25 ₰. Maier.

Kolbe, Br., Dynamische Elektricität. 8^0. VIII, 188 S. mit 75 Holzschnitten. Berlin 1895. 3 *M*. Springer.

Krämer, Ing. Doc. Jos., Konstruktion und Berechnung für 12 verschiedene Typen von Dynamo- Gleichstrommaschinen, für Maschinen-Ingenieure u. Elektrotechniker. Mit 16 Tafeln, wovon 8 in Farbendruck, als Zeichnungsvorlagen bei Konstruktionszeichnungen, sowie mit erläuterndem Text und 36 Abb. quer 4^0. Leipzig. 10 *M*. Leiner.

Kratzert, Ing. Heinr., Grundriss der Elektrotechnik. Für den

prakt. Gebrauch für Studierende der Elektrotechnik und zum Selbststudium. I. Teil. gr. 8⁰. X, 298 S., 278 Abb. Wien 1894. 6 ℳ. Deutike. II. T. gr. 8⁰. VIII, 344 S., 281 Abb. Wien 1894. 8 ℳ. Deutike.

Krebs, A., Lehrbuch der Induktionselektr. u. ihre Anwendung. (Elemente der Elektrotechnik) Mit 432 Erklärungen und 213 Fig. nebst einer Sammlung gelöster Aufg. Nach System Kleyer. gr. 8⁰. X, 302 S. mit 213 Fig. Stuttgart 1889. 6 ℳ. Maier.

Krüger, E. A., die Herstellung der elektr. Glühlampe. Zum prakt. Gebrauche für Fabrikanten, Ingenieure, Techniker, Monteure u. Konsumenten. gr. 8⁰. VIII, 103 S., 72 Abb., 5 Taf. Leipzig 1894. 3 ℳ. Leiner.

Langbein, Dr. G., vollständiges Handbuch der galv. Metallniederschläge. 3. Aufl. gr. 8⁰. XVIII, 423 S., 105 Abb. Leipzig 1895. 6 ℳ. Klinkhardt.

Lüpke, Dr. Rob., Grundzüge der wissenschaftl. Elektrochemie auf experimenteller Basis. 8⁰. VIII, 150 S., 46 Fig. Berlin 1895. 3 ℳ. Springer.

Maier, Jul. u. W. H. **Preece,** das Telephon und dessen prakt. Verwendung. gr. 8⁰. VI, 392 S., 304 Abb. Stuttgart 1889. 9 ℳ. Enke.

Maiss, Dr. Ed., Aufg. über Elektr. u. Mag. Für Studierende an Mittel- u. Gewerbeschulen, sowie zum Selbststudium für angehende Elektrotechniker, Physiker u. A. gr. 8⁰. IV, 150 S., 58 Abb. Wien 1893. 2,40 ℳ. Pichler.

Neureiter, Ing. Ferd., die Verteilung der elektr. Energie in Beleuchtungsanlagen. gr. 8⁰. 260 S., 92 Fig. Leipzig 1894. 6 ℳ. Leiner.

Ostwald, Prof. Dr. Wilh., Elektrochemie. Ihre Geschichte und Lehre. ca. 12 Lief. à 2 ℳ. Leipzig 1895. Veit u. Co.

Palmieri, L., die atmosph. Elektr. Deutsch v. H. Discher. Wien 1884. 1 ℳ. Hartleben.

Phanhauser, Wilh., die galv. Metallplattierung und Galvanoplastik. 85 Abb. 8⁰. Wien 1890. 6 ℳ. Für Pratiker. Spielhagen u. S.

Rohrbeck-Wilke. Vademecum, Kalender für Elektrotechniker. 4. Aufl. 12⁰. IV, 244 S. 4 ℳ. Halle. Knapp.

Rühlmann, Prof. Dr. R., Grundzüge der Elektrotechnik. gr. 8°. 450 S., 226 Abb., 1 Taf. Leipzig 1895. 12 *M*. Leiner.

Scharnweber, L., die elektrische Haustelegraphie und die Telephonie. 2. Aufl. von Dr. Goldschmidt. 111 Abb. Berlin 1887. 3 *M*. Springer.

Schellen, Dr. H. u. Jos. **Kareis,** der elektromagnetische Telegraph. gr. 8°. XXIII, 1238 S. Braunschweig 1888. 30 *M*. Vieweg u. S.

Schulz, Ing. Ernst, praktische Dynamokonstruktion. 8°. VI, 59 S. 40 Abb. u. 1 Karte. Berlin 1893. 3 *M*. Springer.

Schwartze, Th. Ing., Telephon, Mikrophon, Radiophon. 3. Aufl. 8°. XVI, 253 S., 131 Abb. Wien 1892. 3 *M*. Hartleben.

Severin, Clem. und W. **Weiler,** Dynamomaschine für 50 Glühl. nebst Berechnungen. VIII, 72 S. Magdeburg 1894. 2 *M*. Faber.

Taucher, K., Handbuch der Galvanoplastik. gr. 8. XVI, 320 S., 29 Illustr. Stuttgart 1893. 5 *M*. Rieger's V.

Thompson, Dir. Prof. Silv. P., der Elektromagnet. Deutsch von Grawinkel. XV, 430 S. Halle 1894. 15 *M*. Knapp.

— die dynamoelektr. Maschinen. 2 Bände. gr. 8°. 4. Aufl. Halle a. S. 1893. 24 *M*. Knapp.

Tobler, A., die elektr. Uhren u. die elektr. Feuertelegraphie. 8°. XVI, 195 S., 88 Abb. Wien 1883. 3 *M*. Hartleben.

Tyndall, J., Vorträge über Elektr. Deutsch von Rosthorn. 8°. VI, 143 S., 58 Abb. Wien 1884. 2,25 *M*. Hartleben.

Uppenborn, Ing. F., Kalender für Elektrotechniker. München. 5 *M*. Oldenbourg.

Urbanitzky, A. Ritter v., die Elektric. im Dienste der Menschheit. 2. Aufl. gr. 8°. VIII, 1253 S., 1000 Abb. Wien 1894. 12,50 *M*. Hartleben.

Vogler, A., Jedermann Elektrotechniker. 1 Heft, 3. Aufl. V, 98 S., 66 Holzschn. Leipzig 1894. 1,50 *M*. Schäfer. 2. Heft, die Wechselstr. III, 68 S. Leipzig 1892. 1,20 *M*. Schäfer.

Waltenhofen, A. v., die internationalen Maasse. 2. Aufl. gr. 8°. X, 166 S., 15 Illustr. Braunschweig 1892. 6 *M*. Vieweg u. S.

Weiler, Prof. W., die Dynamomaschine. Magdeburg. 3. Aufl. 5 *M*. Faber.

Weiler, Prof. W., die Spannungselektr. gr. 8⁰. 179 Abb., 1 Tafel. Magdeburg 1893. 4 *M*. Faber.

Wiesengrund, Bernh., die Elektr. Für Jedermann verständl. kurz dargestellt. 2. Aufl. gr. 8⁰. 54 S., 44 Abb. Frankfurt a. M. 1895. 1 *M*. Bechhold.

Wilke, Ing. A., die Electric., ihre Erzeugung und Anwendung. 2. Aufl. Lex. 8⁰. VII, 627 S., 811 Abb. 11 Taf. Leipzig 1894. 8,50 *M*. Spamer.

Wunschmann, Prof. Dr. E., die Röntgen'schen X-Strahlen. Berlin, F. Schneider. 60 ₰.

Zickler, Prof. K., die elektr. Minenzündung und deren Anwendung. gr. 8⁰. X, 116 S. 60 Holzschn. Braunschweig 1888. 5,50 *M*. Vieweg u. S.

Zeitschrift für den physikalischen und chemischen Unterricht. Berlin, Dr. Poske.

STAATSBIBLIOTHEK BAMBERG

Verlag von Moritz Schäfer in Leipzig.

Die Schule des
Elektrotechnikers.

Lehrhefte für die gesamte Elektricitätslehre.

Herausgegeben von

Alfred Holzt,

Ingenieur und Direktor des Technikum Mittweida

im Verein mit

H. Vieweger und **H. Stapelfeldt,**

Lehrern der Physik und Elektrotechnik am Technikum Mittweida.

In 36 Heften à 75 Pfennig.

☛ Das erste Heft ist für 75 Pfennig durch jede Buchhandlung des In- und Auslandes zu beziehen.

Die Behandlung und Gliederung des ganzen Stoffes wird in derselben Weise vorgenommen werden, **wie es sich bei den Vorträgen und Uebungen am Elektrotechnischen Institute des Technikum Mittweida als vorteilhaft herausgestellt** hat und geben wir nachstehend eine kurze Übersicht des Inhaltes:

1. Der Galvanische Strom und seine Gesetze.
2. Messmethoden, Schaltungen und Messinstrumente. Photometrie.
3. Chemische Wirkungen. Elektrolyse, Polarisation.
4. Wärmewirkungen. Thermoströme.
5. Magnetismus. Magnetische Kraftlinien.
6. Wechselwirkung zwischen Magneten und Strömen.
7. Der magnetische Kreis.
8. Induktion.
9. Das absolute Maasssystem.
10. Dynamomaschinen und Elektromotoren für Gleich-, Wechsel- und Drehstrom. Berechnung und Konstruktion derselben. Beschreibung ausgeführter Maschinen.
11. Transformatoren für Gleich-, Wechsel- und Drehstrom.
12. Messungen an Dynamomaschinen und Transformatoren.
13. Accumulatoren.
14. Elektrische Beleuchtung. Bogenlampen, Glühlampen. Leitungs- und Installationssysteme. Berechnung der Leitungen. Betriebsstörungen und Beseitigung derselben. Kostenanschläge.
15. Die Kraftübertragung auf grössere Entfernungen. Elektrische Bahnen und Boote.
16. Die Galvanoplastik und die Gewinnung der Metalle auf elektrolytischem Wege.
17. Telegraphie, Telephonie und Mikrophonie.

Eine grosse Zahl Textfiguren und farbig ausgeführter Tafeln, ferner Tabellen sollen das Verständnis des Inhaltes erleichtern

Verlag von Moritz Schäfer in Leipzig.

Die Schule des Maschinentechnikers.

Lehrhefte für den Maschinenbau und die nötigen Hilfswissenschaften.

Mit zahlreichen Konstruktionszeichnungen und vielen in den Text gedruckten Holzschnitten herausgegeben im Verein mit Lehrern des Technikum Mittweida von

Karl Georg Weitzel,

Ingenieur und vormals Direktor des Technikum Mittweida.

In 90 Heften à 50 Pfg.

☞ Das erste Heft ist für 50 Pfennig durch jede Buchhandlung des In- und Auslandes zu beziehen.

Die Fächer, welche in der „Schule des Maschinentechnikers“ behandelt werden, sind folgende: 1.* Die Arithmetik und Algebra. 2.* Die Planimetrie. 3.* Die Trigonometrie. 4.* Die Stereometrie. 5.* Das Wichtigste aus dem Geometrischen Zeichnen und der Projektionslehre. 6.* Das Wissenswerteste aus der Physik. 7.* Die Mechanik. 8.* Die Festigkeitslehre. 9.* Das Wichtigste aus der Differential- und Integralrechnung. 10.* Die Maschinen-Elemente. 11.* Das Wichtigste aus der Graphostatik. 12. Die Hebemaschinen. 13. Die Dampfkessel. 14. Die Dampfmaschinen. 15. Die Pumpen. Wasserräder und Turbinen, einschliesslich der Hydraulik.

Die Behandlung noch anderer Fächer bleibt ausdrücklich vorbehalt.

*) Diese Fächer sind bereits vollständig erschienen und können auch als Bände zu nachstehenden Preisen durch jede Buchhandlung des In- und Auslandes bezogen werden:

Die Arithmetik und Algebra M. 4.—, Die Planimetrie M. 1.50, Die Trigonometrie M. 2.—, Die Stereometrie M. 1.50, Das Wichtigste aus dem Geometrischen Zeichnen und der Projektionslehre M. 4.50, Das Wissenswerteste aus der Physik M. 1.—, Die Mechanik M. 3.50, Die Festigkeitslehre M. 1.—, Das Wichtigste aus der Differential- und Integralrechnung M. 1.50, Die Maschinen-Elemente, Band I mit Atlas M. 12.—, Das Wichtigste aus der Graphostatik M. 2.—.

Schmidt & Baumann, Leipzig-R.

Weiler, Wilhelm,

Der praktische Elektriker populäre Anleitung zur Selbstanfertigung elektrischer Apparate und zur Anstellung zugehöriger Versuche ; nebst Schlussfolgerungen, Regeln und Gesetzen

Leipzig [1897]

Bamberg, Staatsbibliothek -- AGB Q 85
urn:nbn:de:bvb:12-bsb11830186-6